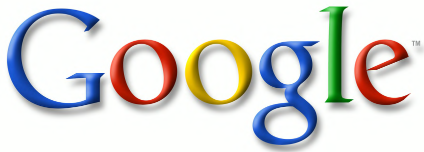
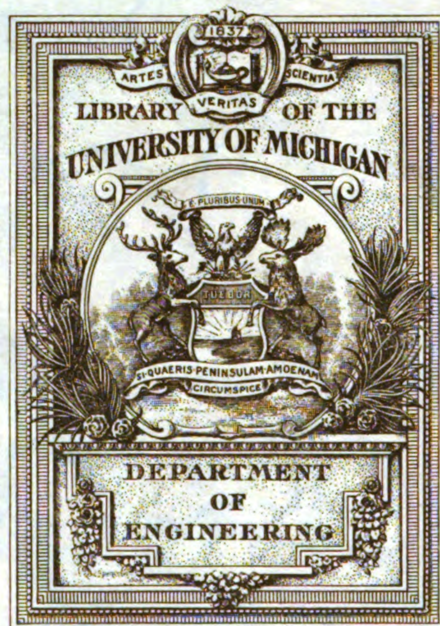
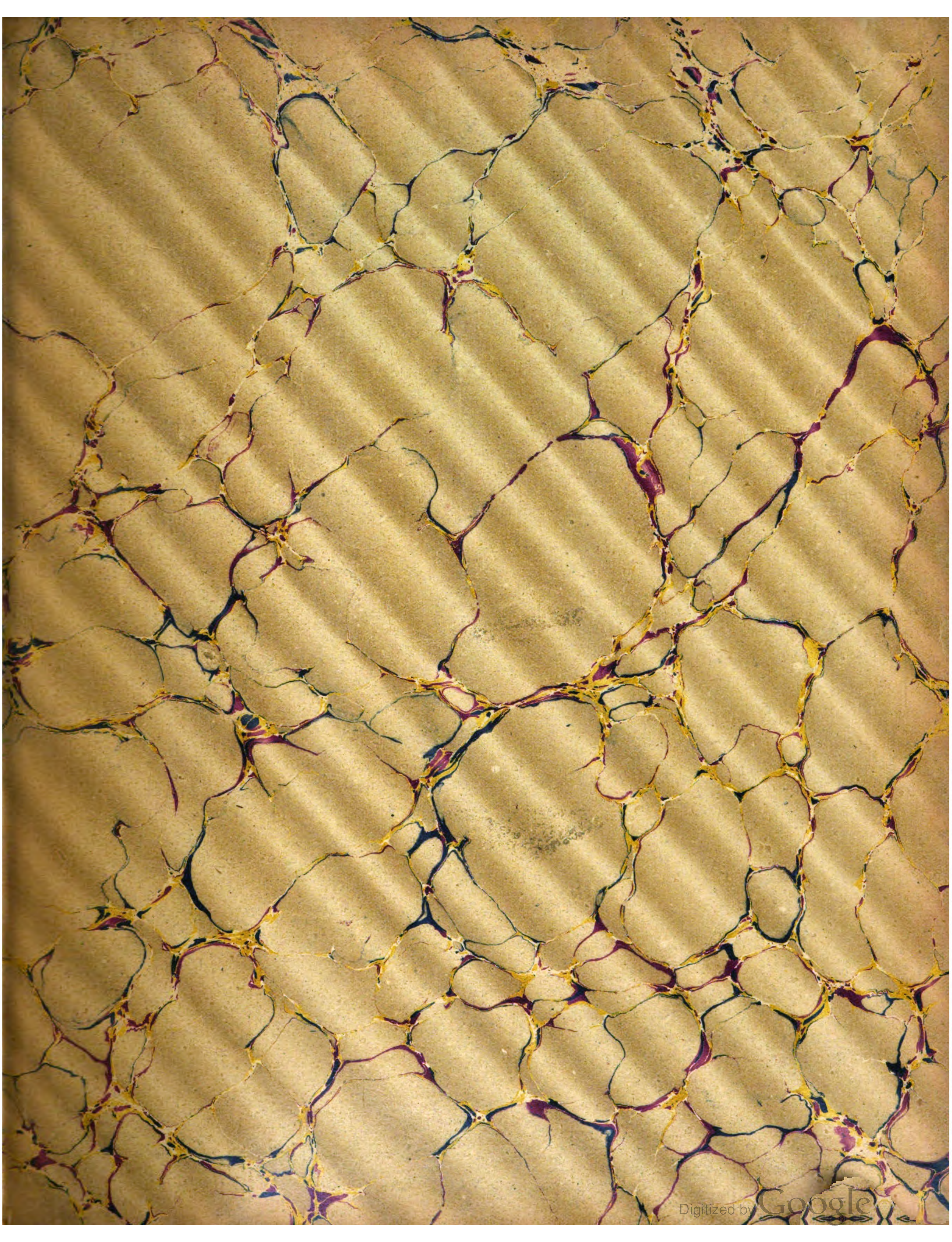




La Lumière électrique



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TOME XXXVI

3e TRIMESTRE 1903

PARIS

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome XXXVI — Samedi 4 Juillet 1903. — 10e Année. — N° 27

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES TRAINS A AUTOMOTRICES MULTIPLES COMMANDÉES D'UN SEUL POINT

Système Thomson-Houston

En indiquant antérieurement [1] les principes et caractères distinctifs des systèmes Sprague et Thomson-Houston, nous avons bien mis en lumière l'automaticité relative des appareils du premier système, et l'asservissement absolu des appareils du second au mécanicien commandant le train [2]: Nous avons vu que le mécanicien d'un train Thomson-Houston avait à manœuvrer un contrôleur analogue au contrôleur ordinaire de tramways, la seule différence consistant en ce que ce combinateur n'envoie pas le courant de traction directement aux voitures, et n'actionne pas directement les moteurs et les résistances, mais bien des servo-moteurs effectuant sur les automotrices les couplages voulus de ces moteurs et de ces résistances.

Il effectue, en quelque sorte, la commande des équipements à *deux degrés*, par l'intermédiaire de servo-moteurs qu'il actionne *synchroniquement* sur toutes les voitures, et qui par suite réalisent synchroniquement sur celles-ci les combinaisons voulues.

Pour actionner des servo-moteurs de faible puissance, comme ceux qui sont nécessaires au combinateur d'un train Thomson-Houston, il suffit évidemment d'un contrôleur beaucoup plus réduit que les contrôleurs ordinaires de tramways, et la comparaison faite plus haut n'implique pas l'égalité de dimensions et d'encombrement: on l'a faite seulement pour faire comprendre que le principe du série-parallèle y était observé tout comme dans un

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 453, 20 mars 1902, ainsi que p. 113, 25 janvier 1902.

(2) A la date où furent publiés nos premiers articles, et même à la date où fut écrit celui-ci, la Compagnie Thomson-Houston n'avait pas encore étudié, à la demande et pour les besoins spéciaux de la New-York Transit Co, le système à automaticité facultative décrit plus loin.

contrôleur série-parallèle ordinaire, que la disposition générale de celui-ci lui était conservée et que la manœuvre en était rigoureusement la même : c'est ce qu'on verra plus loin par l'examen des figures.

Composition générale des équipements.— On peut concevoir dès maintenant la composition générale d'un train Thomson-Houston de la manière suivante :

Chaque poste de commande comporte un *contrôleur série-parallèle*, commandant synchroniquement les servo-moteurs des diverses voitures automotrices.

Par ce contrôleur doit passer tout le courant de commande des servo-moteurs, et le contrôleur du poste en service est alors le seul intermédiaire entre la ligne d'alimentation et les primaires des servo-moteurs : *un réseau primaire* doit donc relier tous ceux-ci aux combinateurs des différents postes d'où le mécanicien pourra conduire le train : ce réseau primaire est en même temps un *circuit général du train*, traversant celui-ci dans toute sa longueur (automotrices et remorques), en parfaite analogie avec ce qu'on a déjà vu dans le système Sprague.

Au réseau primaire se rattacherait également le fil d'amenée du courant de ligne à chacun des combinateurs, qui se dérive, au voisinage de celui-ci, du circuit principal ou secondaire de l'automotrice.

Ce *circuit principal* comporte les moteurs et leurs résistances, ainsi que les contacts de changement de marche ou d'inversion, mus par un servo-moteur spécial. Ce circuit n'intéresse nullement les remorques du train et il est limité en principe aux seules voitures automotrices ; il y aurait même d'assez grands inconvénients, pour des équipements puissants, à encombrer les voitures de remorque des câbles d'assez grand diamètre des circuits secondaires ; bref, ce *réseau principal* est essentiellement composé de *circuits individuels*, terminés aux prises de courant même de chaque automotrice, c'est-à-dire aux frotteurs du 3e rail et au châssis mis, par les roues, en connexion avec le rail de roulement ou de retour du courant.

Dans quelques cas spéciaux, mais tout à fait exceptionnels, certaines compagnies, employant les trains à unités multiples Thomson-Houston, ont réuni les frotteurs de prise de courant des automotrices par une ligne continue traversant la longueur totale du train, y compris les remorques : cette jonction avait pour objet de remédier aux interruptions de courant sur les diverses automotrices passant tour à tour sur une portion de voie présentant une interruption momentanée du rail de prise de courant : les frotteurs touchant le rail fournissaient le courant aux voitures dont les frotteurs avaient perdu momentanément le contact.

Les interruptions du 3e rail n'ont pas d'ordinaire une telle importance : et, dans les cas de notre connaissance où on fait emploi de cette jonction, il a été reconnu qu'on aurait aussi bien pu n'en pas faire usage ; on aurait eu quelques chocs lors de la reprise de courant par les automotrices momentanément sans contact, et on aurait pu observer l'extinction momentanée, mais peu gênante, des lampes de ces voitures, branchées sur les frotteurs de prise de courant.

Chaque servo-moteur d'un train Thomson-Houston pourrait être considéré comme appartenant au circuit primaire ou au circuit secondaire ; il serait futile de les décrire en détail sous ce double point de vue, et il est mieux d'ailleurs de faire remarquer leur extrême simplicité en tant qu'organes du circuit secondaire ; ce sont de simples interrupteurs ou jeux de contacts auxquels leurs constructeurs ont donné récemment la désignation bien imagée de *contacteurs*.

L'*inverseur* ne comporte également, au circuit secondaire, que les contacts ordinaires des appareils inverseurs, qui permettent de changer, par rapport aux inducteurs, le sens des pôles de l'induit. Cet inverseur comporte essentiellement deux bobines primaires : l'une pour la marche dans un sens, l'autre pour celle dans l'autre sens ; quant aux contacteurs, leur fermeture se fait par l'action d'une seule bobine primaire, et leur rupture, par l'action de la gravité, aidée de l'élasticité naturelle des contacts, ou plus récemment de ressorts à boudin.

Ajoutons à ces considérations de principe, que toute rupture du courant, soit primaire, soit secondaire, est favorisée par le soufflage magnétique, la multiplicité des ruptures simultanées et les dispositions de construction des contacts.

Avant l'examen détaillé des appareils, il n'est pas inutile d'étudier d'un peu plus près l'ensemble qu'ils composent, en y introduisant d'ores et déjà, pour plus d'exactitude, les divers accessoires, indispensables ou non, entrant dans l'équipement de trains donnés, ceux du Manhattan de New-York, par exemple, ou du Central London d'Angleterre, ou de la ligne Invalides-Versailles, des Chemins de fer de l'Ouest, et dans l'équipement plus récent du New-York Rapid Transit.

Au premier cas (le Manhattan de New-York) se rapporte la figure 1 ci-contre, qui représente l'équipement complet d'une automotrice à 2 moteurs de 130 à 160 chevaux, pouvant être associée à un nombre quelconque de semblables automotrices ou de remorques.

En gros traits sont représentées toutes les connexions du circuit principal, portant le courant des moteurs, ainsi qu'on l'a vu plus haut.

En traits plus fins, sont représentées toutes les connexions du réseau primaire, non pas individuel comme le précédent, mais collectif et étendu au train tout entier par l'intermédiaire de coupleurs pour le passage d'une voiture à l'autre.

Pour ne pas entrer dès maintenant dans des complications inutiles, nous avons éliminé du dessin de l'équipement les appareils de freinage, compresseurs, régulateurs, etc., pour ne conserver que les appareils essentiels à l'étude que nous entreprenons :

Les moteurs, au nombre de deux, sont représentés schématiquement à la partie inférieure du dessin :

Induits : $A_1\ AA_1$, $A_2\ AA_2$ Inducteurs : $F_1\ E_1$, $F_2\ E_2$

Les résistances sont représentées schématiquement au-dessus des moteurs, et tout près des contacteurs qui leur correspondent, de sorte qu'il est facile de se rendre compte des combinaisons de résistances employées et de leur effet.

L'inverseur, qui figure aussi dans le réseau représenté en gros traits, dans la partie inférieure du dessin à droite, inverse le sens de marche des moteurs, en changeant le sens d'insertion des induits A_1AA_1, A_2AA_2, simultanément, bien entendu, sur les deux moteurs.

Les deux électros de manœuvre de l'inverseur sont représentés schmématiquement entre les contacts principaux et en traits fins, et il en est de même de tous les électros de commande des contacteurs, numérotés de 1 à 13 dans la figure.

Le courant de commande leur est envoyé par l'un quelconque des deux postes de la voiture, ou par tout autre poste de commande du train. Les *postes de commande*, ici représentés, à gauche et à droite dans la partie supérieure de la figure, comportent le combinateur série-parallèle à soufflage électro-magnétique et son cylindre inverseur, un interrupteur commandant le circuit et un fusible de protection ; et un des postes comporte encore un interrupteur d'isolement et des fusibles : cet interrupteur d'isolement, sans être indispensable, est d'emploi commode si on veut, pour des raisons quelconques (recherches et

localisation de défauts, avaries, etc.), séparer entièrement la voiture du réseau principal primaire.

Dans ce cas les recherches sont encore facilitées par le mode de connexion des fils aux tableaux de connexion 1 et 2 des deux postes ; la continuité absolue des fils de commande, qui ne présentent aucune jonction ni épissure d'aucune sorte, est une garantie de sécurité d'abord ; elle offre ensuite une très grande facilité pour séparer du réseau un fil quelconque s'il en est besoin.

Un seul coupleur pourrait suffire pour assurer la continuité du circuit de commande dans toute la longueur du train; mais, pour faciliter les couplages et pour éviter les croisements de jonctions électriques avec les autres jonctions existant dans le train qui nous occupe, on a placé à chaque extrémité des voitures deux douilles de couplage au lieu d'une seule (Pièces fixes des coupleurs des circuits de commande).

La prise de courant se fait sur un 3ᵉ rail, analogue à ceux des lignes de chemins de fer électriques ordinaires, et du câble principal partant des frotteurs se détache le fil alimentant le circuit de commande des deux postes.

Si nous suivons le *circuit principal*, nous rencontrons d'abord des interrupteurs à main qui permettent d'isoler entièrement les appareils du 3ᵉ rail; leur seule manœuvre permet donc de couper tout courant sur le secondaire, de procéder aux vérifications qu'on peut avoir à faire, notamment pour le fonctionnement à blanc des appareils, etc.

Le fusible qui lui fait suite protège le même circuit contre des afflux accidentels de courant provenant d'un court-circuit; les deux contacteurs numérotés 1 et 2 établissent deux jonctions parallèles ou opèrent une double rupture sur le pôle positif du circuit.

L'interrupteur 3 met en jeu la résistance R_1, R_7, l'interrupteur 4, la résistance R_2, R_7, l'interrupteur 5, la résistance R_3, R_7, l'interrupteur 6, la résistance R_4, R_7 ; et ainsi de suite jusqu'aux contacteurs 9 et 10, qui mettent en court-circuit la dernière résistance R_6, R_7.

Les électros 9 et 10 réalisent une double rupture, analogue à celle des électros 1 et 2 ; les suivants 11, 12 et 13 servent au couplage, c'est-à-dire effectuent les groupements des moteurs en série et en parallèle.

Pour cela remarquons que le moteur 2 a son pôle négatif inducteur relié à la terre en G, et qu'il en devra être de même du pôle négatif du moteur 1 E_1 lors de la mise en parallèle des moteurs. On voit que cette mise à la terre du pôle E_1 sera faite par l'électro 13; de même le pôle positif d'induit (A_2 ou AA_2, suivant le sens de la marche) est relié au point C par l'inverseur, et au pôle positif R_7 par l'électro 12.

Les électros 12 et 13 servent donc à effectuer la mise en parallèle des moteurs, et l'électro 11 effectue leur mise en série en reliant E_1 au point C, c'est-à-dire au pôle d'induit A_1 ou AA_2.

Il est de toute importance, pour éviter les courts-circuits, de rendre impossible le fonctionnement des électros 11 quand les électros 12 et 13 ont pris contact et inversement. Il est aisé de voir d'abord que ces deux groupes d'électros de commande appartiennent à des circuits différents : les primaires 12 et 13 partent du frotteur 2 du combinateur, tandis que le primaire 11 est alimenté par du courant venant du frotteur 1 (frotteurs qui ne touchent jamais G en même temps) ; les segments inférieurs du contrôleur effectuent ainsi la rupture de ces deux groupes importants d'électros et coupent leurs circuits du côté terre.

De l'autre côté les 2 circuits traversent d'autres électros pour aboutir à un contact de rupture au pôle positif mû par l'inverseur (extrémité du fil 15).

Comme mesure de sécurité complémentaire, on voit que le fil 2 d'alimentation des électros 13 et 12 présente une rupture sous l'armature du contact 11 et que le circuit ne peut

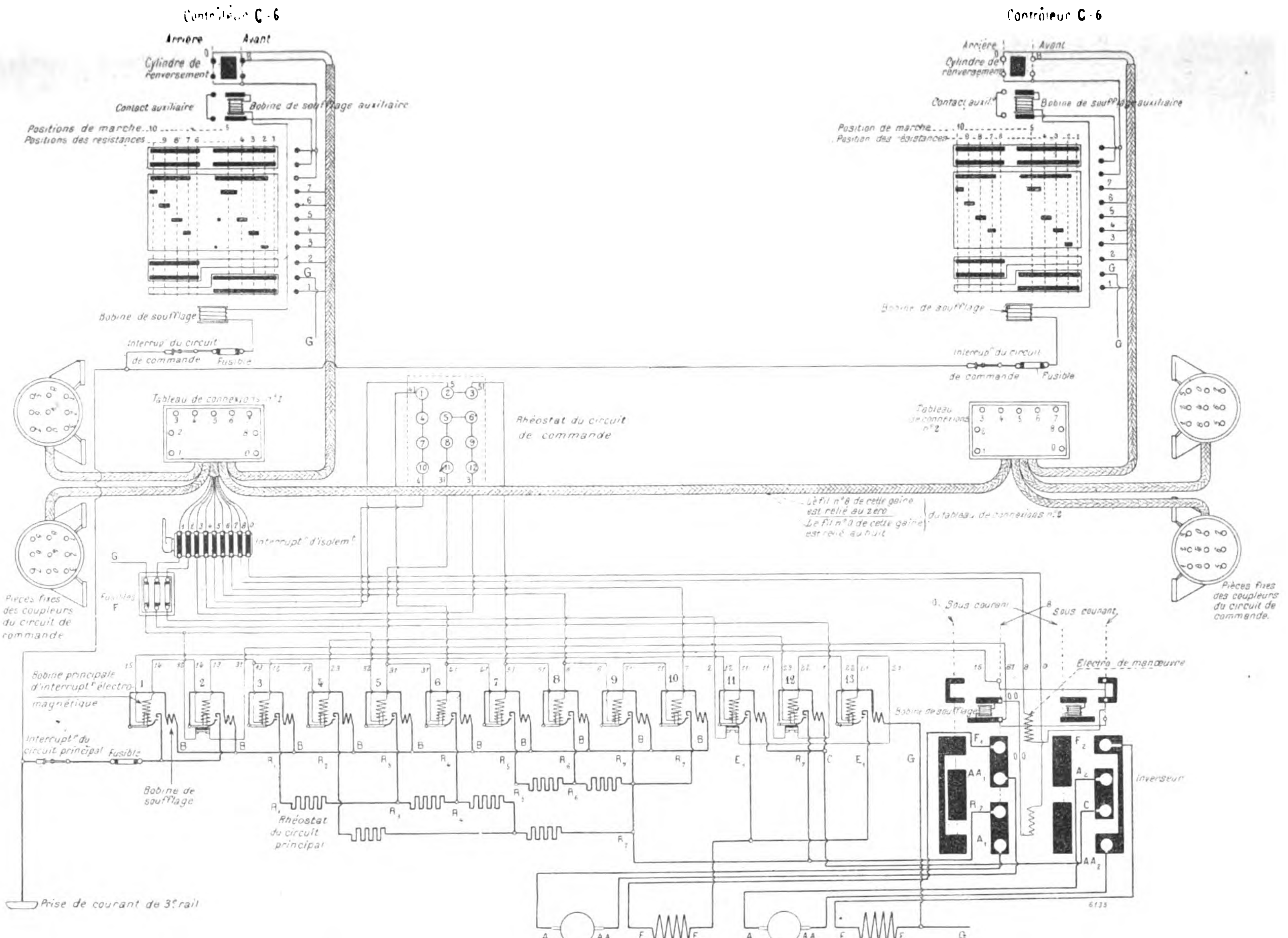


Fig. 1. — Schéma de l'équipement d'une automotrice Thomson-Houston à 2 moteurs de 130 à 160 chevaux.

***

être fermé que par un pont solidaire de cette armature et réunissant les contacts de rupture quand l'armature est à sa position inférieure.

Semblablement l'armature de l'électro 12 porte un contact interrompant le circuit primaire 11 quand l'armature est attirée, et le rétablissant dès que l'armature regagne sa position inférieure.

On voit d'après le dessin que l'électro 2 est pourvu d'un contact analogue, placé sur le trajet du fil allant de la terre G, à travers un fusible, au fil 81 ou pôle négatif des bobines d'inverseur.

Ce contact établit donc une rupture sur le chemin que devrait suivre un courant pour alimenter et mettre en jeu les bobines d'inverseur; il maintient cette rupture aussi longtemps que l'électro 2 est en service, c'est-à-dire aussi longtemps qu'il y a du courant dans les moteurs.

La disposition de l'inverseur au pôle positif peut paraître une garantie déjà suffisante contre tout fonctionnement intempestif; donc celle que nous venons de signaler n'est qu'une garantie additionnelle en faveur du système, aucun accident, aucune défectuosité, terre ou autre dans l'équipement, ne pouvant provoquer le fonctionnement de l'inverseur sous courant; on verra plus loin, en effet, que l'inverseur n'est fait pour couper aucun autre courant que le courant de commande de ses électros et des électros contacteurs.

Nous avons dit plus haut qu'un contact auxiliaire mû par l'inverseur était inséré, du côté du pôle positif, dans la ligne d'alimentation des contacteurs.

Examinons de plus près l'alimentation de ceux-ci pour nous en rendre compte.

Nous avons reconnu déjà l'existence de deux séries de contacteurs, indépendants et ne pouvant fonctionner simultanément :

Contacteur 11 pour couplage en série.

Contacteurs 12 et 13 pour couplage en parallèle.

Il y a aussi les contacteurs des résistances.

Au circuit de l'électro 11 se rattachent les électros de contacteurs pour résistances (servant en série seulement. Ici il n'y en a qu'un, c'est l'électro 3 auquel il faut joindre bien entendu les électros de rupture 1 et 2.

Au circuit des électros 12 et 13 se rattache semblablement l'électro de résistance 4, qui ne sert qu'aux positions parallèles, et il est suivi bien entendu des électros de rupture 1 et 2.

Ces deux circuits entrant successivement en service pendant un démarrage, sont alimentés, du côté du pôle négatif, par les 2 sections inférieures du contrôleur de plate-forme, du côté du +, par un contact auxiliaire placé sur l'inverseur (fil 15).

Quant aux résistances servant, tour à tour, en parallèle et en série, elles correspondent à des électros qui fonctionnent deux fois par cycle et sont groupés dans un 3e circuit primaire, qui reçoit le courant du contrôleur et n'est nullement relié à l'inverseur (circuit G, 32, et, après fil 32, électros 5, 6, 7, 8, 9, 10) (1).

---

(1) Partons du pôle positif des contacteurs, c'est-à-dire suivons le fil 15 à son départ de l'inverseur; on voit que celui-ci, dans chacune des deux positions limites où il doit rester pendant la marche, donne le courant au fil 15, par l'intermédiaire d'un de ses électros; ce fil 15 aboutit au pôle positif de l'électro 1, d'où le circuit se continue par l'électro 2 à toutes les positions, et aux positions séries par le contacteur 3 en série avec l'électro 11; ce circuit passe par le contact auxiliaire placé sous 12, par un des trois fusibles représentés à gauche au-dessus de l'électro 1, par la touche 1 de l'interrupteur d'isolement, et enfin se ferme à la terre par la section inférieure du contrôleur (section 1G).

Ces contacteurs 1, 2, 3, 11 sont seuls levés à la première position (démarrage des moteurs en série avec des résistances) et le contrôleur C_6 est alors à sa première position, c'est-à-dire que la génératrice 1 de ce cylindre est en regard des doigts de contact fixes numérotés 1G, 2, 3, etc.

En résumé, les groupements d'électros ressortent assez nettement de ce qui précède, malgré l'apparente complexité du problème :

Le circuit primaire de marche en série 1, 2, 3, 4, 11 est alimenté, du côté positif, par l'intermédiaire de l'inverseur, du côté négatif, par la section inférieure du contrôleur 1 G.

Le circuit de marche en parallèle 1, 2, 4, 12, 13 est alimenté par l'inverseur du côté positif et par la seconde section inférieure du contrôleur 2 G, du côté terre.

Le troisième circuit, exclusivement consacré aux électros de réglage des résistances E, qui fonctionnent, tour à tour, en série et en parallèle, est alimenté par la troisième section du contrôleur à partir du bas, non plus du côté terre, mais du côté trôlet, tandis qu'il prend directement sa terre G à travers le premier des fusibles F, et qu'il ne dépend nullement de l'inverseur.

Les fusibles F protègent respectivement ces trois circuits.

Revenons maintenant à l'inverseur et au rôle qu'il joue dans l'alimentation des deux circuits primaires de couplage :

L'inverseur est en principe composé d'un cylindre portant les touches ordinaires servant à inverser l'induit, et de deux bobines de commande pouvant l'amener à deux positions stables où l'enclenche un dispositif électro-mécanique spécial.

Il est commandé par ces deux bobines, à l'aide du courant qui lui vient des touches supérieures du contrôleur et du cylindre de renversement représenté à la partie supérieure de ce dernier : ce cylindre peut être mis par le mécanicien dans l'une ou l'autre de ses deux positions, pendant que le cylindre principal est au zéro, mais ce n'est qu'à la première position de marche du cylindre principal que l'un ou l'autre des fils zéro ou 8 de l'inverseur sera relié au fil positif de la ligne.

Si l'inverseur n'est pas déjà dans la position correspondant à la bobine ainsi reliée au pôle positif, o par exemple, on voit qu'un circuit est offert au courant, par l'intermédiaire de cette bobine (la bobine de soufflage à gauche de l'inverseur dans le cas de la figure 1), le fil 81, le contact auxiliaire placé sous le contacteur 2 et le premier fusible F : dans ces conditions, représentées par la figure 1, l'application du courant au fil zéro provoquerait l'inversion de l'appareil : le courant de la bobine zéro d'inverseur ayant agi serait coupé

Si l'on ramenait le contrôleur au zéro, les deux contacts inférieurs effectueraient une double rupture du circuit du côté terre, et les deux contacts supérieurs la rupture du circuit (contacteurs et inverseur du côté trôlet).

L'électro suivant, numéroté 4, ne peut être en service qu'avec les électros 12 et 13.

L'électro 5 est alimenté du côté terre par le fil 32 aboutissant au premier à gauche des fusibles F, et dans ses positions successives le contrôleur l'alimente du côté du pôle positif, en série seul avec des résistances ou en série avec d'autres contacteurs :

A la seconde position, le fil 3 alimente l'électro 5 seul par le fil 31 à travers des résistances.

Dans la position 3 il alimente, par le doigt 4 et le fil 41, les électros 6 et 5 à travers les résistances, 1, 4, 7 et 10.

A la position 4, le doigt 5 alimente, par le fil 51 et les résistances 2 et 3, les électros 7, 6 et 5.

A la position 5, le doigt 7 en communication avec le fil 7 de l'électro 10, actionne d'un seul coup les contacteurs 8, 9 et 10, c'est-à-dire court-circuite absolument les résistances, par les secondaires en parallèle des deux électros 9 et 10.

La résistance R_6, commandée par l'électro 8 branché au doigt 6, n'a pas eu d'action ; elle sert seulement en parallèle.

L'examen des positions de marche en parallèle serait également simple.

Le même fil 15 alimente alors les contacteurs de rupture 1 et 2 et l'électro 4 est substitué à l'électro 3 à la première position du contrôleur. Donc la résistance R_2 est substituée à la résistance R_1, et les contacteurs 12 et 13 sont substitués à l'électro 11, dont le courant a été coupé, du côté terre, au contrôleur.

A la partie inférieure de celui-ci on voit que le fil 2 est substitué au fil 1 ; il alimente, par l'intermédiaire du contact auxiliaire placé sous 11, les électros 13 et 12 du côté terre, tandis que leur alimentation du côté trôlet est faite, comme nous venons de le voir, par l'intermédiaire des électros 12 et 4. Quant à l'insertion des résistances suivantes, elle se fait comme précédemment par le jeu des électros 5, 6, 7, 8, 9 et 10 (ces deux derniers assurant le court-circuit complet des résistances et l'électro 8 mettant cette fois en jeu la résistance R_6).

sous les touches de la bobine de soufflage correspondante et le contact en U (**C**) viendrait faire pont entre le fil 15 et la borne o o, assurant ainsi l'alimentation des circuits primai-

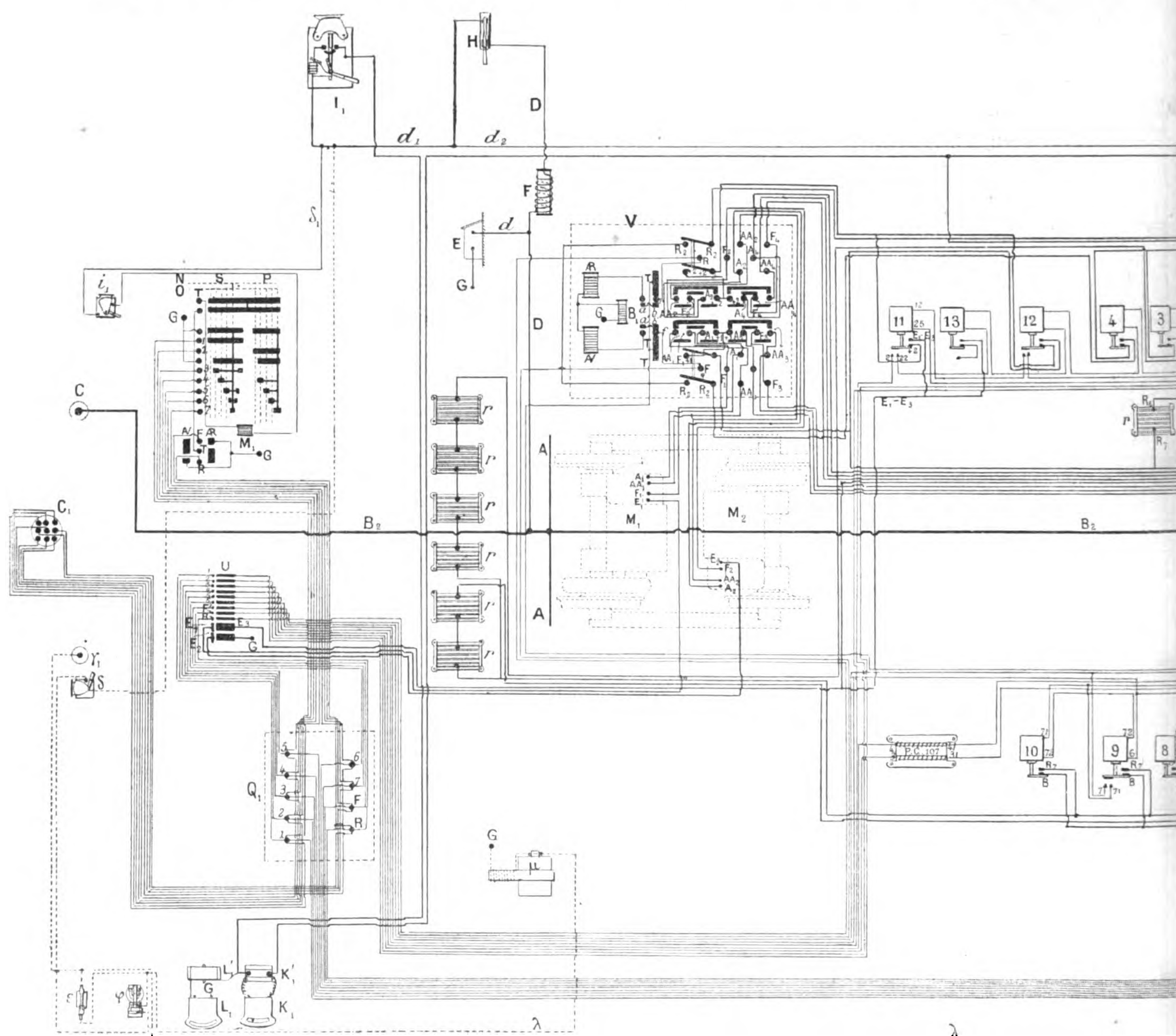
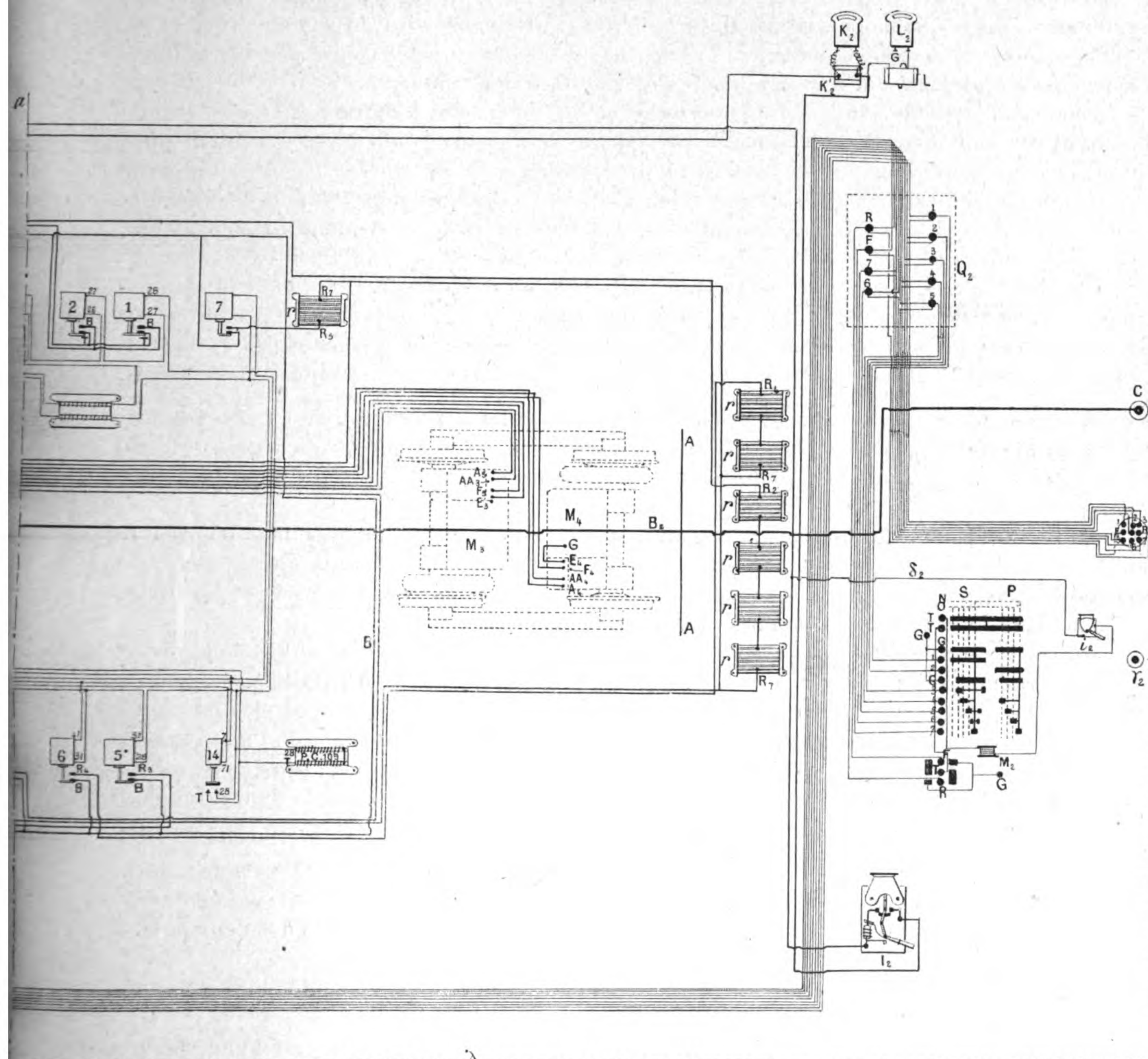


Fig. 2. — Train Thomson-Houston à unités multiples des Chemins

——— Circuits principaux. ——— Circuits de commande et de voltmètre. .... Circuit de compresseur.

AA, câble de connexion de la ligne de train aux frotteurs de prise de courant. — B_2B_2, ligne de train reliant les frotteurs de prise de courant des voitures. — CC, coupleurs de la ligne de train reliant les frotteurs de prise de courant des voitures. — DD, dérivation du courant général de la voiture considérée. — *d*, dérivation du parafoudre. — E, parafoudre. — F, bobine de self du parafoudre. — G, prise de terre ou connexion au châssis de la voiture. — H, interrupteur général de la voiture. — d_1d_2, dérivations de courant vers les disjoncteurs des deux plates-formes. — I_1I_2, disjoncteurs principaux. — K_1K_2, ampèremètres. — $K'_1K'_2$, shunts d'ampèremètres. — L_1L_2, voltmètres. — $L'_1L'_2$, résistances ou multiplicateurs de voltmètres. — T_1, dérivation du courant principal vers les contacteurs 1 et 2. — TB, BR_1, BR_2, double jonction par les électros 1, 2, 3 et 4 au trôlet T ; BR_3, BR_4, BR_5, BR_6, jonctions par les électros 5, 6, 7, 8, insérant en parallèle les résistances successives R_1R_7,

res des contacteurs. C'est l'inverse qui a eu lieu précédemment pour mettre l'inverseur dans la position où il est figuré, et le sens de marche est celui qui correspond à la position



de fer de l'Ouest. Appareils et circuits d'une voiture automotrice :

R_2R_7, R_3R_7, R_4R_7, R_5R_7, R_6R_7. — BR_7, double jonction par les électros 9 et 10, mettant en court-circuit définitif les résistances de B à R_7. — r, boîtes de résistance de réglage des moteurs. — M_1, M_2, M_3, M_4, moteurs. — A_1AA_1, A_2AA_2, A_3AA_3, A_4AA_4, bornes d'induit. — E_1F_1, E_2F_2, E_3F_3, E_4F_4, bornes d'inducteurs. — G, terre. — PC_{107}, PC_{108}, PC_{109}, résistances du circuit de commande. — $\delta_1\delta_2$, dérivations des circuits de commande des deux postes. — i_1i_2, disjoncteurs des circuits de commande des deux postes. — C_5, contrôleur des deux postes. — M_1, M_2, bobines de soufflage. — N, positions de marche du contrôleur. — O, position intermédiaire du contrôleur. — S, positions série. — P, positions parallèle. — C_1, C_2, coupleurs du circuit de commande à 9 fils. — Q_1, Q_2, tableaux de connexion. — U, interrupteur de sectionnement du circuit de commande et d'une partie du circuit principal. — V, inverseur. (Pour détails lire la description.) — λ, ligne de train du compresseur. — γ_1, γ_2, coupleurs du compresseur. — δ, disjoncteur du circuit du compresseur. — ε, interrupteur. — φ, régulateur, — μ, moteur du compresseur.

qu'a déterminée le fonctionnement de l'électro 8 inverseur : c'est par l'intermédiaire de sa bobine que se fait l'alimentation du fil 15.

L'inverseur n'est pas fait pour couper le courant aux contacts principaux, mais coupe seulement, ainsi que nous venons de le voir, le courant primaire de ses électros, et de quelques-uns de ceux des contacteurs : encore le soufflage en est-il assuré par des bobines spéciales qui préviennent tout danger de détérioration des contacts.

Une manœuvre de l'inverseur en marche aurait pour effet d'entraîner la rupture du courant des moteurs sous les contacts principaux de l'appareil, qui n'est pas prévu pour une pareille éventualité ; aussi plusieurs précautions sont-elles prises pour éviter cette manœuvre intempestive : d'abord un enclenchement mécanique empêche tout changement de position du cylindre de renversement de marche annexé au contrôleur du mécanicien, tant que celui-ci n'a pas été ramené préalablement au zéro.

De plus, l'alimentation des électros de rupture et de couplage 1, 2, 11, 12 et 13 est faite par l'intermédiaire du fil 15 et de l'inverseur lui-même : leur rupture suivrait promptement tout déplacement de l'inverseur ; tous les contacts principaux des contacteurs 1, 2 et 11, ou 1, 2, 12 et 13 retomberaient donc et isoleraient les moteurs du circuit d'alimentation.

Nous donnerons maintenant le dessin des équipements à 4 moteurs de 80 chevaux des chemins de fer de l'Ouest, ligne Invalides-Versailles, en y ajoutant les accessoires de freinage et en signalant les quelques différences qui existent dans la composition des équipements.

Tout d'abord ils ne sont pas aussi différents qu'on pourrait le présumer d'après le nombre différent des moteurs : en effet, ceux-ci sont reliés deux à deux en parallèle, de manière à former deux groupes entre lesquels se font les combinaisons série et parallèle, comme dans le cas de deux moteurs seuls.

Au centre du dessin (fig. 2) sont représentés les moteurs affectés aux 2 boggies et groupés comme suit : Moteurs 1 et 3 en parallèle ; Moteurs 2 et 4 en parallèle.

Pour ne pas créer de difficultés au cas où un moteur d'un des groupes viendrait à se détériorer, leur jonction est effectuée par l'intermédiaire de deux touches de l'*interrupteur de sectionnement ou interrupteur coupe-circuit* U à gauche de la figure E_1, E_3 et E_2 G, et par l'intermédiaire des contacts de l'inverseur (inverseur automatique V sur la figure, touches numérotées 1 et 2).

Examen de la figure. — I. *Appareils de commande.* — On voit, aux extrémités de la diagonale N. O. S. E. du dessin les deux contrôleurs série parallèle de commande (contrôleurs C. 5) qui constituent sur cette voiture automotrice la partie essentielle des deux postes de commande, complétés :

Par un *disjoncteur de 25 ampères*, protégeant le circuit de commande d'un afflux de courant dangereux, en cas de court-circuit.

Par un interrupteur coupe-circuit, qui sert uniquement au sectionnement d'une voiture qu'on voudrait éventuellement éliminer du réseau primaire du train, sans interrompre ce dernier.

Cet interrupteur coupe-circuit n'est nullement indispensable, et ne fait d'ailleurs pas partie du matériel de commande du second poste.

Écartons provisoirement de notre énumération les appareils nécessaires au freinage, et qui comportent, sur une ou plusieurs automotrices suivant les poids et vitesses du train, un *compresseur* d'air pour réservoirs de frein, un régulateur ou *contrôleur électro-pneumatique*, et un commutateur à deux directions pour commander le compresseur, par l'intermédiaire

du contrôleur électro-pneumatique, dont nous expliquerons plus loin le rôle, ou directement en cas d'avarie à ce dernier, enfin, un *disjoncteur de 25 ampères*, protégeant le circuit contre un afflux accidentel de courant : ces accessoires de freinage, aussi indispensables sur un tel train que les moteurs, seront examinés à la suite de cette étude, et nous nous contenterons ici de les mentionner, puisqu'ils ne rentrent qu'à titre spécial dans la composition de l'équipement Thomson-Houston considéré.

Les circuits (de primaire et de compresseur) que nous venons d'examiner, se détachent du circuit principal (représenté en gros traits), et qui, dans le train considéré, est continu, c'est-à-dire traverse toutes les voitures par l'intermédiaire de coupleurs ; c'est pourquoi l'on voit sur le dessin ci-joint deux coupleurs de ligne, aux extrémités de la voiture, réunis par la ligne générale, dont se détachent les circuits principaux de chaque voiture motrice.

Ne mentionnons qu'en passant le parafoudre, servant à protéger l'équipement des décharges atmosphériques, avec bobines de self et accessoires, et l'interrupteur général, en série avec un disjoncteur à maximum protégeant le circuit.

Avec un disjoncteur, chaque poste comporte : ampèremètre et voltmètre, et dans l'un d'eux même un compteur, qui, sans être indispensable, peut donner lieu à d'intéressantes observations.

Les disjoncteurs étant en parallèle et celui du poste de commande étant fermé, on voit qu'à travers le compteur (wattmètre) de la cabine de gauche et l'ampèremètre du poste en service, le courant principal est envoyé au second des deux gros fils représentés de gauche à droite à la partie supérieure, et qui aboutit aux bornes T des contacteurs 1 et 2.

De là, il serait facile de le suivre à travers les secondaires des contacteurs et les résistances de réglage, en s'inspirant des indications données plus haut.

Qu'il suffise d'indiquer, comme précédemment, que les contacteurs 1 et 2 sont affectés à la rupture du côté trôlet. Les contacteurs 9 et 10 à la double rupture du circuit, à l'autre extrémité.

Le contacteur 11 au couplage en série des moteurs.

Les contacteurs 12 et 13 au couplage en parallèle.

Et les autres règlent les résistances.

Ces dernières sont composées de sections, enroulées de manière à présenter une large surface de refroidissement par rapport à leur volume et groupées dans des cadres métalliques robustes (désignés par P R 106, P R 104 sur le dessin).

Quant au primaire des électros et à leur groupement, il est très semblable à ce que nous avons dit.

Le contrôleur a ses segments différemment disposés, mais ses fonctions demeurent les mêmes : il alimente le positif des électros, contrôleur et inverseur, par ses deux segments supérieurs représentés en regard du frotteur T, et le négatif par les segments G placés au-dessous.

A remarquer aussi, dans le cylindre inverseur annexé au contrôleur et représenté au-dessous de ce contrôleur à gauche, la mise à la terre du fil de marche arrière pendant la mise au trôlet du fil de marche avant et inversement. Le doigt central T représente le point d'amenée du fil envoyé du trôlet, par l'intermédiaire de contacts supérieurs T du contrôleur et de la bobine de soufflage. F représente le doigt de marche avant, R le doigt de marche arrière ; comme précédemment, G représente la terre.

Il est donc impossible qu'un court-circuit se déclarant entre les fils de marche avant et arrière F et R, mette en même temps le courant sur les bobines avant et arrière de l'inverseur et compromette son fonctionnement. Ce court-circuit, s'il se produit, se révélera par une disjonction à laquelle il sera facile de remédier de suite.

En ce qui concerne l'inverseur, on voit que le courant n'est pas maintenu sur ses bobines de commande : le pôle négatif de celles-ci reste bien relié à la terre à travers la bobine de frein B, mais le pôle positif aboutit au contact fixe représenté en traits ronds entre les petits segments mobiles quadrangulaires *ab* de l'inverseur : quand une bobine a reçu le courant par. l'intermédiaire de ce contact, elle agit pour déplacer le cylindre, et le contact se rompt, préparant un contact correspondant dans le circuit de l'autre bobine, ouvert au contraire à l'extrémité contrôleur par le cylindre de renversement du mécanicien : une bobine ayant agi prépare les contacts auxiliaires du contrôleur à fournir le courant à l'autre bobine, ce qui sera fait dès que le mécanicien mettra le cylindre de renversement de marche dans la position voulue.

Les deux grands segments quadrangulaires T, représentés sur l'inverseur, sont toujours en contact avec le doigt fixe *r* ou *f* excité, et frottent sur un contact non visible sur le dessin d'où part le fil T alimentant les électros des contacteurs.

On voit que ce fil aboutit, en regard du fil 28, à un contact qui peut être ouvert ou fermé par l'armature d'un électro marqué 14 et que nous n'avons pas encore signalé : cet électro a seulement pour but de mettre en série ou de supprimer la bobine P C 109, suivant le courant qu'il admet, c'est-à-dire suivant les circonstances pour lesquelles il est réglé ; réglé, par exemple, pour court-circuiter la bobine PC 109 sous le voltage normal de 500 volts, il la mettra èn série et limitera le courant quand le voltage sera de 550 ou 600 volts.

Nous avons pris là un exemple, mais il est constant que dans la pratique et dans le cas qui nous occupe, la bobine 14 agit pour insérer la bobine PC 109 et réduire le courant pris par le primaire dès que l'équipement a atteint sa position de marche normale.

Dans ces conditions, les intensités observées ont été, pour un train consommant 600 ampères et jusqu'à 1 000 ampères *ad libitum*, au démarrage, d'une valeur relative très minime et négligeable en pratique : on a trouvé les valeurs suivantes pour les différentes positions du contrôleur :

ÉQUIPEMENT A UNITÉS MULTIPLES 4GE-51. Moteurs de 80 chevaux.

Consommation du circuit de commande aux différentes positions du contrôleur.

Position 1 série	1,3 amp.	Position 6	3,3
» 2 »	3	» 7	2,7
» 3 »	3,5	» 8	3
» 4 »	2,6	» 9	3
» 5 »	1,55	» 10	1,6
Position intermédiaire	2,36		

Bien entendu, les seules positions de marche à maintenir d'une façon prolongée sont les positions 5, correspondant à la marche série sans résistance, et 10, correspondant à la marche en parallèle.

Les seules positions normales de marche, positions 5 et 10, consomment donc 1,3 et 1,6 ampère environ sous 500 volts.

Examen des appareils. — Quelques figures extraites d'un Bulletin de la Compagnie Thomson-Houston compléteront les données relatives aux appareils des trains Thomson-Houston en général, et plus particulièrement du premier train de ce système réalisé en France, train d'essai qui a été mis en service successivement aux chemins de fer d'Orléans, aux chemins de fer de l'Ouest et sur les chemins de fer italiens :

Inverseurs. — Des inverseurs de deux modèles ont été employés avec un égal succès :

L'un, plus spécialement affecté aux équipements à deux moteurs, est un simple

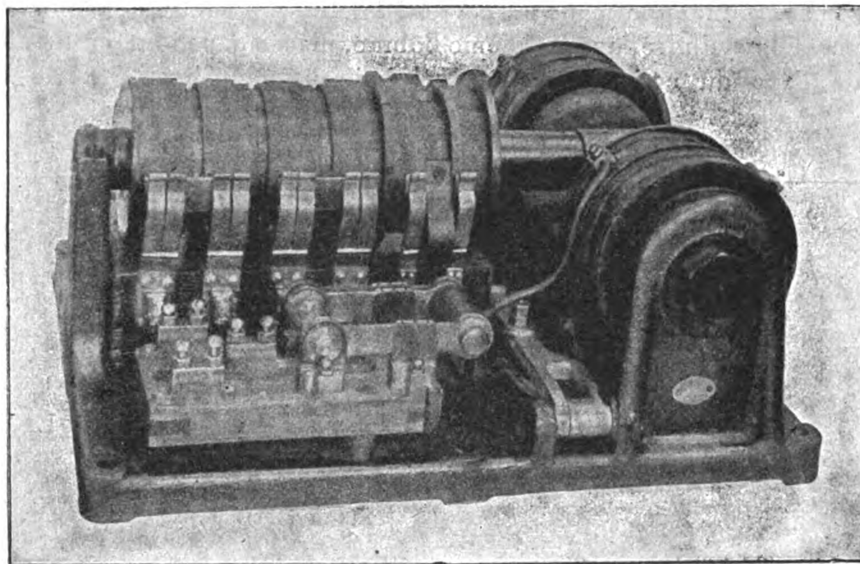


Fig. 3. — Interrupteur-inverseur.

balancier oscillant autour d'un axe horizontal : tel est celui des équipements du Manhattan, dont nous retrouverons l'emploi dans les *trains à unités doubles* Thomson-Houston du Métropolitain de Paris.

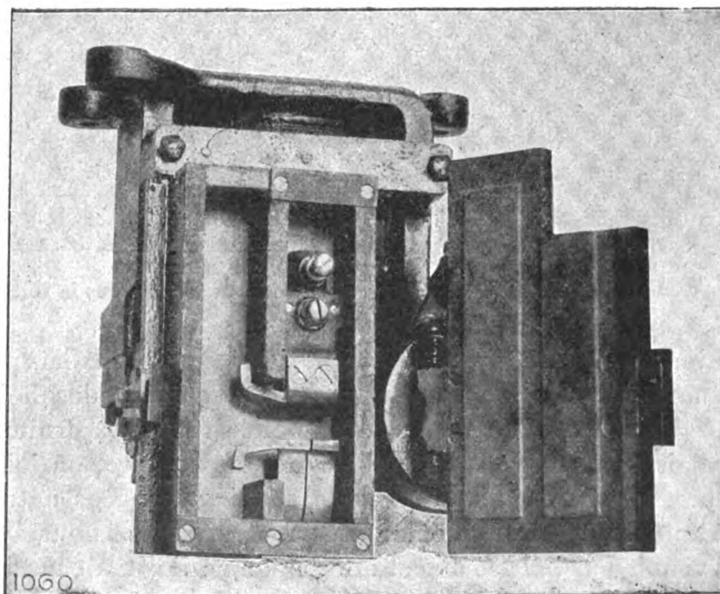


Fig. 4. — Contacteur automatique.

L'autre, approprié surtout aux équipements à quatre moteurs est représenté par la figure 3. Il comporte un cylindre porte-contacts articulé à deux bielles, commandées par les deux

****

bobines de marche avant et arrière ; une sorte de came bloque le cylindre à la partie inférieure sous l'action d'un ressort, pour le maintenir solidement dans l'une ou l'autre de ses positions extrêmes. Lors d'une manœuvre, et quand l'une ou l'autre des bobines principales agit pour déplacer le cylindre, une troisième bobine, placée dans l'intervalle des premières, au-dessous de l'axe du cylindre, libère celui-ci en comprimant le ressort du frein inférieur.

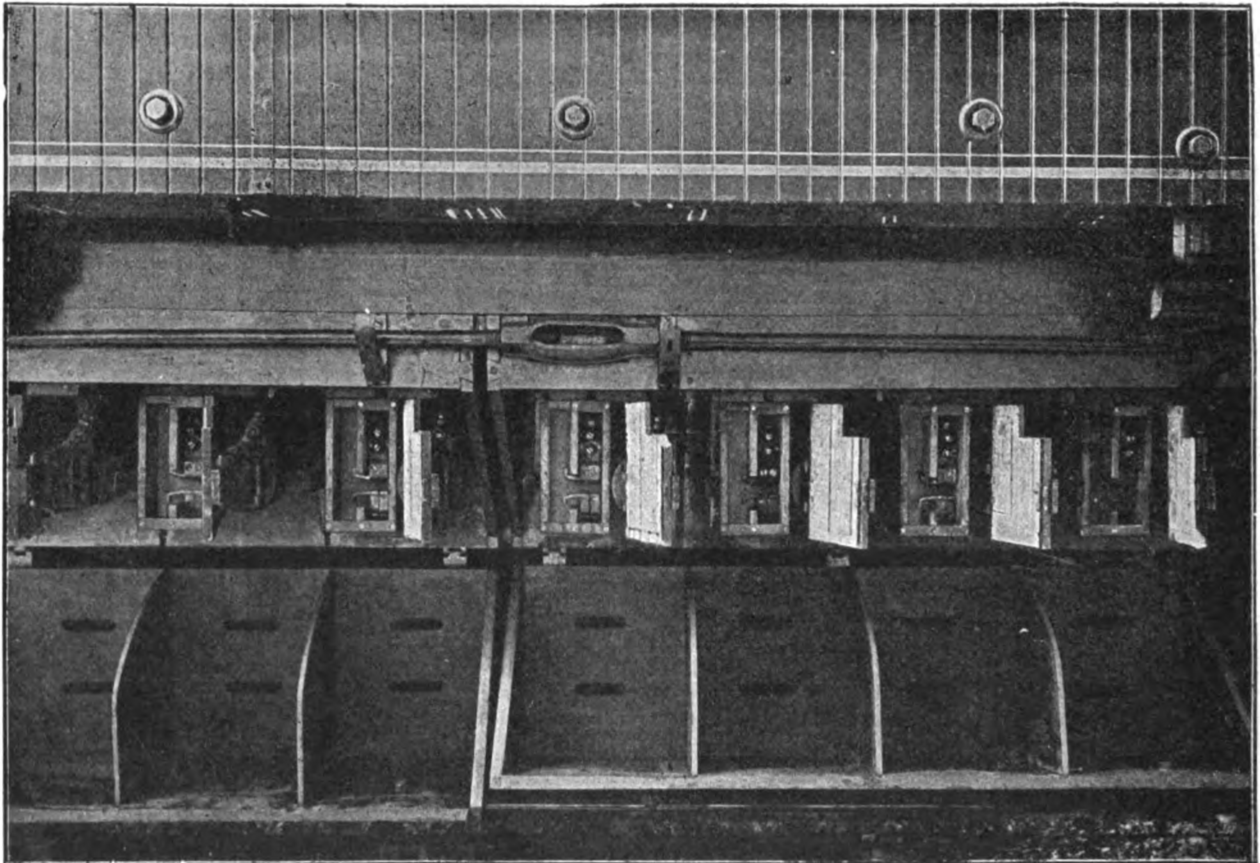


Fig. 5. — Groupement des interrupteurs électromagnétiques sous la voiture.

Aucune disposition n'est prise pour souffler les quatre jeux de balais principaux, visibles à la gauche et qui ne coupent jamais aucun courant : le courant des bobines est, au contraire, coupé par les deux balais auxiliaires plus petits, visibles à droite, la rupture se fait sous chacun des balais, et, à la précaution de la double rupture, on joint encore celle du soufflage magnétique, assuré par les bobines de soufflage placées entre les deux balais.

Des deux interrupteurs de sectionnement des moteurs, dont nous avons dit plus haut le rôle, un seul est visible sur la base de cet interrupteur : il est fait aussi pour être manœuvré seulement au repos et ne couper aucun courant.

Contacteurs automatiques. — Les différentes fonctions des contacteurs employés ne conduisent pas, pour ceux-ci, à différents types ; ils ont, en effet, tous pour objet en définitive de fermer un circuit par l'attraction d'une armature et de l'ouvrir quand cette attraction a cessé.

Le modèle général de contacteurs est celui de la figure 4, très légèrement modifié seulement par l'addition de contacts auxiliaires, dans le cas des contacteurs 11 et 12 et quelquefois du contacteur 2.

La figure 4 représente l'appareil dans son entier : base de fixation, bobine d'attraction, bobine de soufflage, contacts de rupture, boite de rupture. Cette boîte, ouverte sur la figure 4, est garnie de matière incombustible et isolante, sur le fond de laquelle est monté

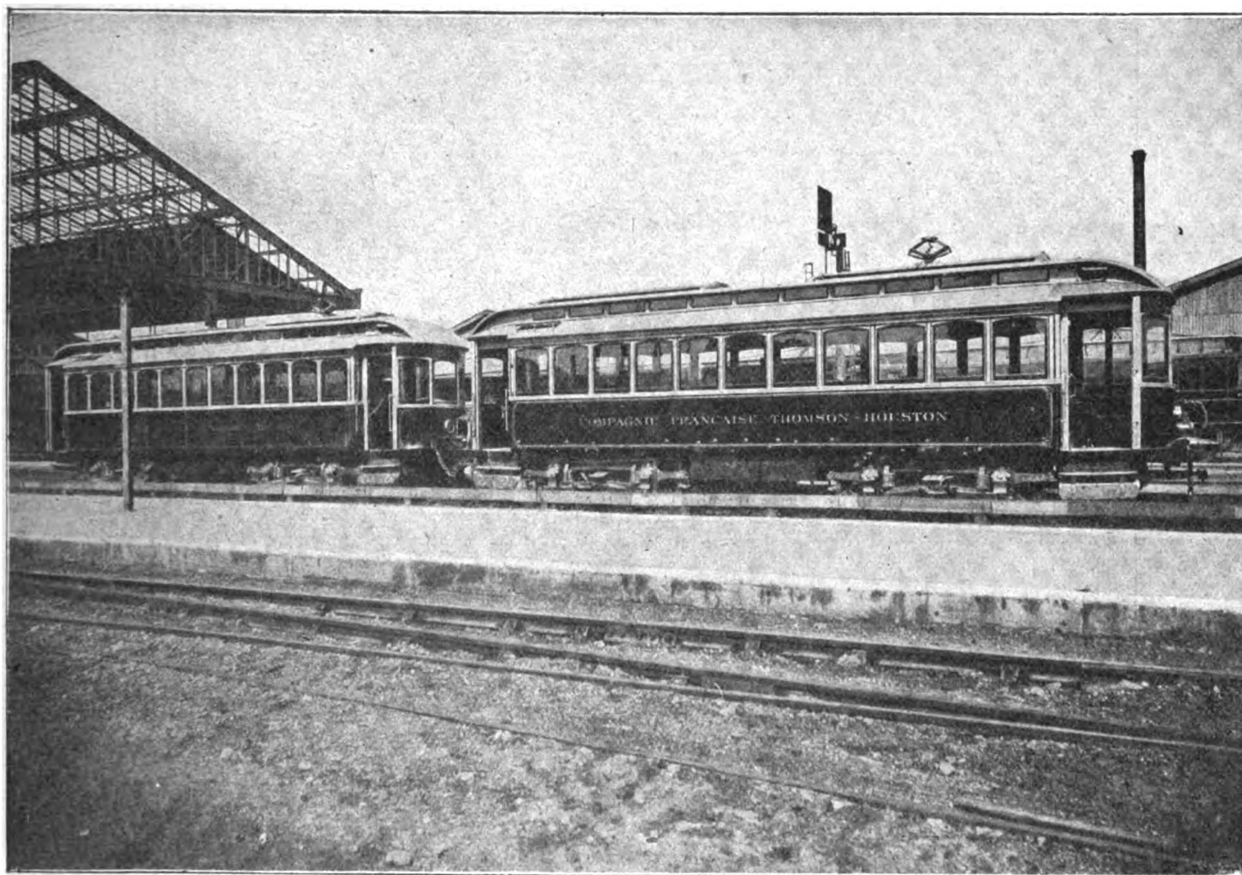


Fig. 6. — Vue d'ensemble des voitures.

le contact de rupture supérieur et à travers la partie inférieure de laquelle peut jouer le contact mobile : leur pression, lors du contact, est assurée par la flexibilité du contact inférieur et de sa liaison avec l'armature magnétique ; lors de la fermeture se fait un glissement d'un contact sur l'autre, qui favorise l'intime adhérence des deux parties, entretient les surfaces et prévient au besoin l'interposition de poussières métalliques ou autres.

Si l'attraction vient à cesser, cette élasticité restituée et aidée de la gravité, provoque la rupture rapide du contact : l'arc jaillit entre les projections en forme de cornes dans le compartiment voisin de la boite de rupture, grâce à l'action énergique de la bobine de soufflage parcourue par le courant principal : on aperçoit cette bobine à droite sur la figure près de la charnière de la porte de soufflage : celle-ci porte dans sa largeur horizontale la projection métallique qui sert à conduire le flux de la bobine et à le fermer. La répulsion

entre le flux ainsi produit et l'arc amorcé entre les bobines dévie ce dernier de droite à gauche et, par le jeu de cornes de contact, favorise ainsi la rupture.

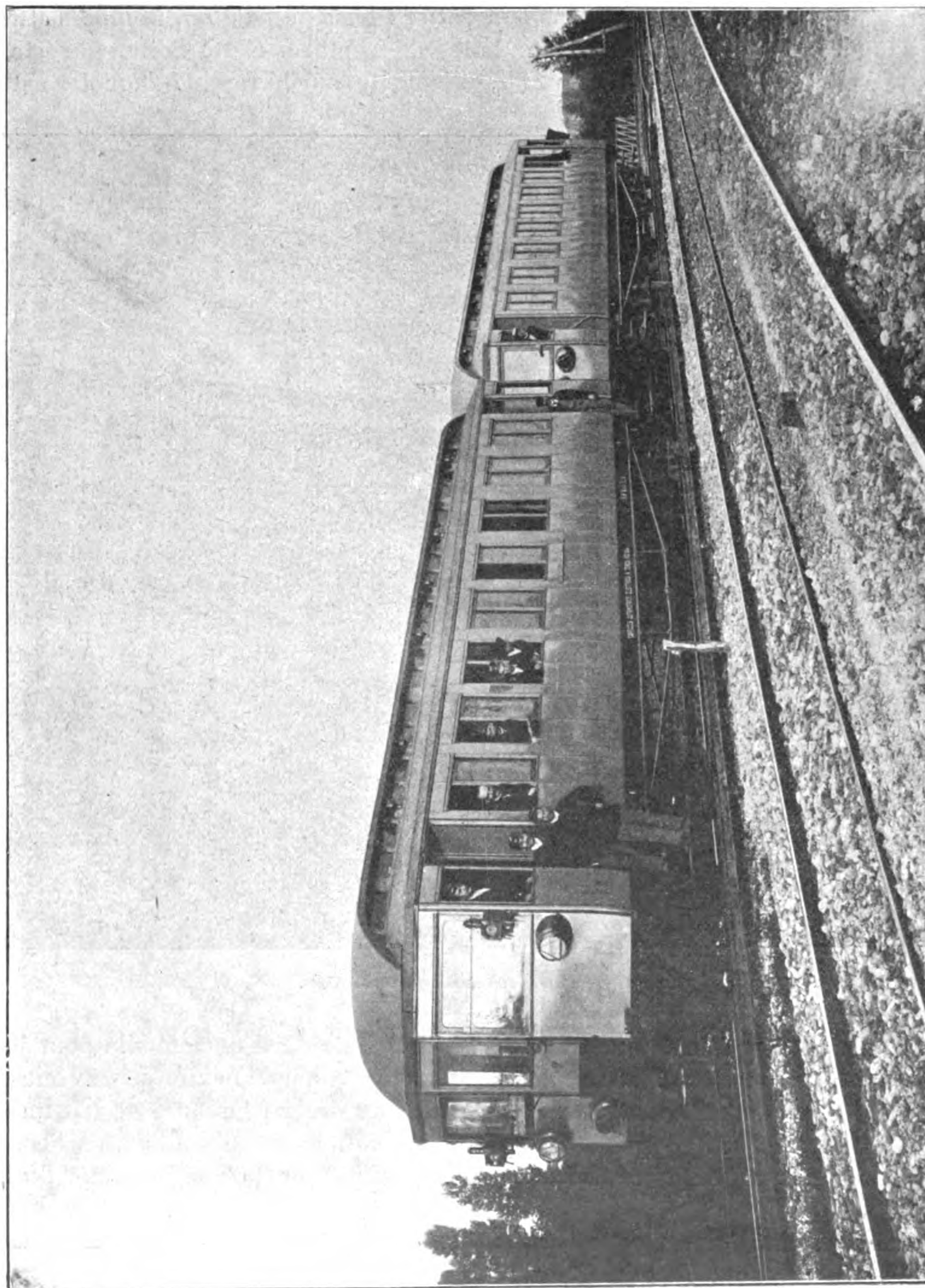


Fig. 7. — Vue d'ensemble des voitures sous un autre aspect.

L'appareil est donc extrêmement simple, son soufflage plus énergique et plus efficace que ne peut l'être le soufflage d'un contrôleur de grandes dimensions ; son isolement est assuré par la nature même du montage (soit seulement montage sur bois directement de la

masse de l'appareil, soit interposition de manchons en caoutchouc entre les boulons de fixation et la masse). La force d'attraction de l'électro-aimant de commande est si considérable que l'effort d'un homme ne peut suffire à la vaincre et à effectuer la séparation des contacts.

Le fonctionnement de ces interrupteurs a toujours été parfaitement régulier, mais on a cherché, cependant, à les rendre aussi facilement accessibles et visitables que le sont les contacts d'un contrôleur ordinaire de plate-forme. A ce point de vue on est même arrivé à

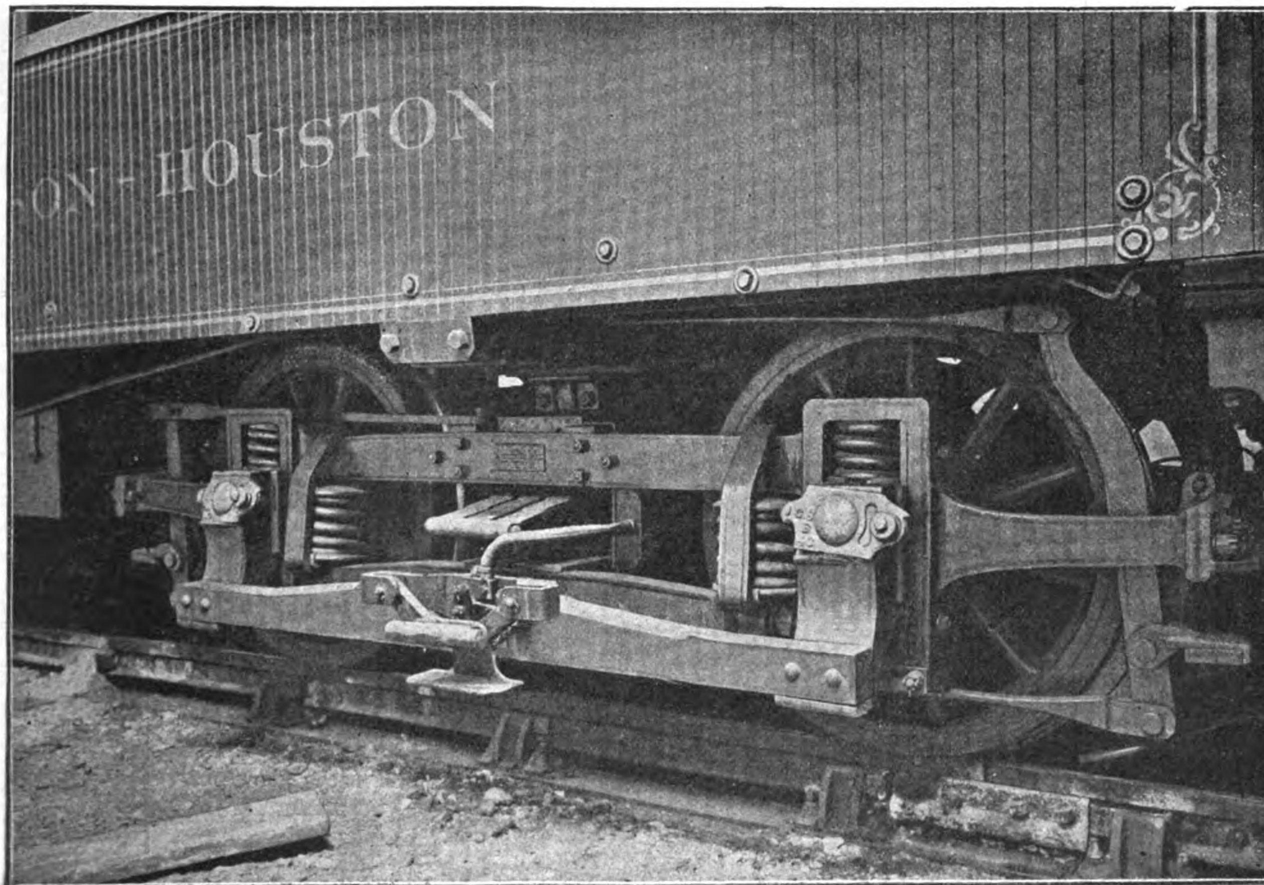


Fig. 8. — Truck et sabot de prise de courant.

une disposition très pratique, ainsi qu'on en peut juger par l'examen de la figure 5, où l'on voit les interrupteurs électro-magnétiques groupés latéralement sous la caisse de la voiture, dans l'espace compris entre les trucks. Les contracteurs peuvent être montés à l'intérieur des voitures si on les préfère, et c'est cette disposition qui a été adoptée au Central-London. Les figures 6 et 7 font bien ressortir le peu d'encombrement du système, et la figure 5 met en évidence les facilités de montage et de surveillance qu'ils assurent au personnel ; la figure 9 représente l'intérieur d'une caisse.

Résistances de réglage. — Quant aux *résistances* de réglage, elles sont du type ordinaire des résistances de tramways Thomson-Houston ; elles peuvent être réparties d'une façon quelconque, suivant les circonstances particulières où l'on est placé. La faible distance séparant les trucks des voitures du chemin de fer d'Orléans n'a pas permis de les placer dans l'intervalle ; c'est pourquoi on les a réparties sous les plates-formes.

Les appareils du circuit principal ne diffèrent de ceux des équipements ordinaires que par la commande à distance ; ils sont construits sur les mêmes principes, avec la même expérience de ce matériel; ils présentent donc la même sécurité de fonctionnement, ainsi que le prouvent d'ailleurs tous les essais en cours, ainsi que les nombreuses applications réalisées depuis.

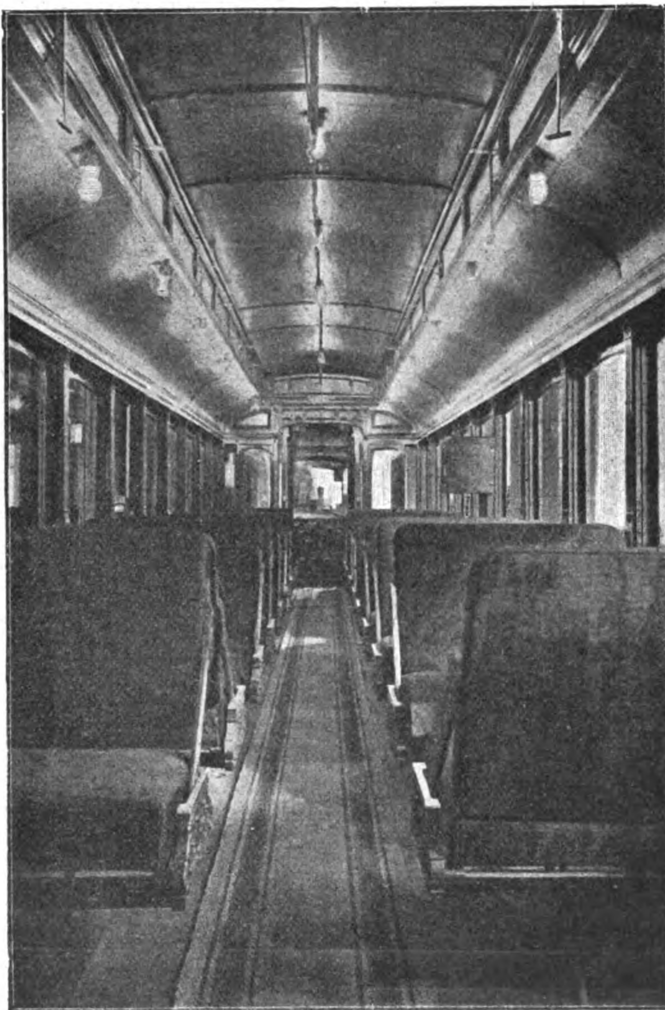


Fig. 9. — Intérieur de la caisse.

Il nous reste à décrire les appareils de manœuvre et de contrôle, réunis près du mécanicien.

Contrôleur principal. — Le *contrôleur principal*, type C, occupe sur cette plate-forme la même place qu'un combinateur ordinaire de tramway et se manœuvre exactement de la même manière.

La figure 10, qui représente une vue intérieure de la cabine du mécanicien, montre comment on a pu, grâce à leurs dimensions très réduites, mettre à la portée du wattman tous les appareils de manœuvre, c'est-à-dire :

Le contrôleur principal avec la manivelle de couplage et de variation de résistance, la manivelle de renversement de marche (mobile seulement aux positions de repos), les manettes de frein à main et de frein à air, le disjoncteur principal, les interrupteurs de lumière, de compresseur d'air, etc.

Bien en vue du mécanicien, se trouvent le voltmètre, l'ampèremètre, les manomètres de frein et tous les appareils de contrôle.

Compresseur électrique. — Comme les automotrices peuvent être appelées à fonctionner en groupe ou isolément, on a muni chacune d'elles d'un réservoir de faibles dimensions et d'un *compresseur électrique* fonctionnant automatiquement par le jeu d'un régulateur, étudié pour maintenir la pression d'air au réservoir, entre deux limites déterminées et fixées dans le cas qui nous occupe à 5 et 6 kgcm².

Le compresseur lui-même est à deux pistons et tourne à 450 tours ; il est commandé directement par un moteur électrique qu'arrête et met en marche automatiquement le régulateur de pression ; il a un débit d'environ 100 litres d'air par minute à 7 kg.

La figure 11 fait bien ressortir l'analogie de construction et de manœuvre des contrôleurs série parallèle, type tramway et type à unités multiples TH. Les déflecteurs d'arcs empêchent de voir les frotteurs fixes, mais on aperçoit les segments mobiles correspondants montés sur le cylindre principal, et la bobine de soufflage placée dans le prolongement du

cylindre principal. A la partie inférieure, et dans le prolongement, se voit également le cylindre de renversement, commandé à l'aide d'une tige visible latéralement, et manœuvrée par la manette plus petite, visible à droite, au sommet du contrôleur. On retrouve dans cet appareil les dispositifs d'enclenchement ordinaire des contrôleurs, qui ont pour objet principal de s'opposer à tout renversement de direction pendant la marche, et à tout démarrage inopportun ou indépendant du mécanicien.

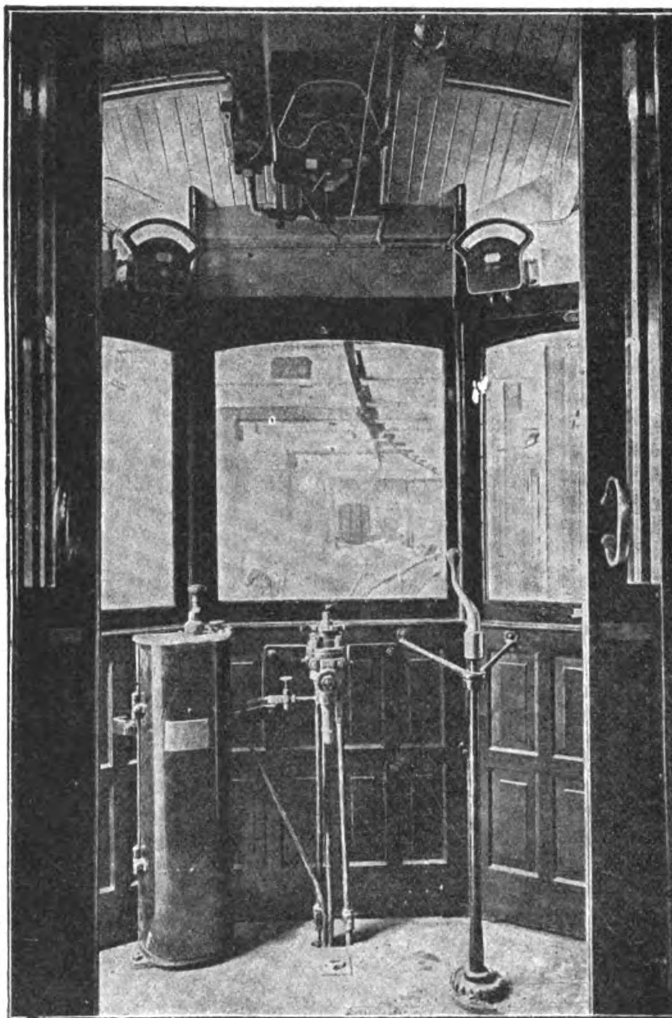


Fig. 10. — Intérieur de la plate-forme du mécanicien.

Nous n'insisterons pas sur ces dispositifs bien connus d'enclenchement; nous signalerons seulement celui qui a été inauguré ici pour assurer l'arrêt automatique du train au cas, où pour une raison quelconque, il échapperait au contrôle du mécanicien. Le courant est dès lors doublement interrompu aux deux contacts supérieurs du contrôleur; en effet, ceux-ci sont montés sur un manchon traversé par l'arbre de commande du cylindre principal. Pour faire participer le manchon supérieur au mouvement de rotation de cet arbre, et par conséquent de la manivelle, il faut et il suffit qu'on les solidarise en pressant légèrement le bouton d'enclenchement placé au sommet de la manivelle ; cet enclenchement cesse si la pression de la main du mécanicien vient à cesser pour une raison quelconque; alors la partie inférieure du cylindre principal reste en position et le manchon supérieur obéit à un ressort de rappel qui le ramène au zéro en effectuant la double rupture du courant de commande.

Dès que ce courant vient à manquer, les interrupteurs coupent le courant principal alimentant les moteurs du train.

On pourrait signaler beaucoup d'autres détails intéressants, mais cette étude nous entraînerait trop loin, et serait d'ailleurs superflue, puisqu'on peut voir ces trains en fonctionnement sur les chemins de fer de l'Orléans et de l'Ouest.

DÉVELOPPEMENT DU MODE DE TRACTION PAR UNITÉS MULTIPLES. — L'état en est donné par le dernier rapport financier de la General Electric C° de New-York, exploitant aux Etats-Unis les brevets Thomson-Houston de traction à unités multiples, auxquels elle joint, depuis plus d'un an, après achat, les brevets Sprague.

Cette Compagnie a construit le matériel à unités multiples des installations de traction

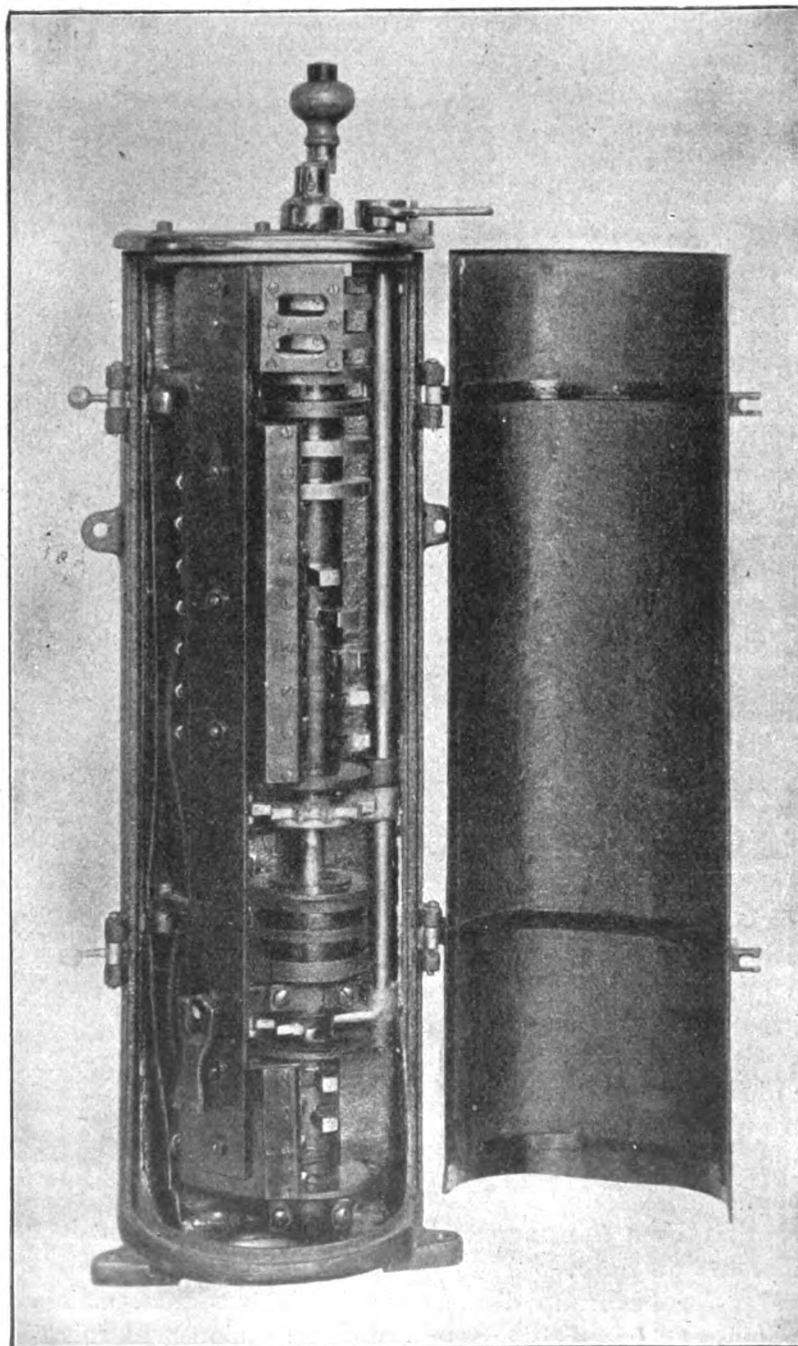


Fig. 11. — Contrôleur principal série-parallèle, type tramway et type unités multiples TH.

dont la liste est donnée ci-dessous, le nombre des voitures motrices étant indiqué en dernière colonne.

Manhattan Ry Co (New-York City)	900
Aurora, Elgin et Chicago Ry (Chicago Ill)	38
Houghton County Ry Co (Houghton, Mich)	8
Boston et Maine Ry Co (Con'd et Man'ster Div) N H	12
Chicago Burlington et Quincy Ry (Deadwood et L. C. Div)	3
Canton et Akron Ry (Canton O)	10
Columbus, Buckeye L. et Newark Cy (Columbus O)	9
Columbus Delaware et Marion Ry (Columbus O)	14
Columbus, London et Springfield Ry (Columbus O)	11
Detroit et Chicago Ry (Detroit Mich)	10
Denver et Northwestern Ry (De, ver Col)	5
International Ry (Buffalo) N Y	36
Central London Ry (London)	64
Great Northen et City Ry (London)	35
Chemins de fer de l'Ouest (Paris)	2
Mediterranean Ry Co (Gallarate Division)	2
Lake Shore Electric Ry (Toledo O)	28
Northwestern Elevated Ry (Chicago Ill)	67
Seattle et Tacoma Interurban Ry (Seattle, Wash)	10
Fonda, Johnstown et Glowersville Ry (Glowersville) NY	8
Schenectady Ry Co (Schenectady) N Y	22
Athens et Piraeus Ry (Greece)	1
Prussian Government Ry (Anhalt Suburban Division)	19
Interborough Rapid Transit Co (New-York)	340
Boston et Worcester Electric Ry (Worcester Mass)	36
Milvaukee Electric Ry Co (Milvaukee Wis)	25
Baltimore et Ohio R. R. Co (Baltimore Md)	4
South Side Elevated Ry Co (Chicago Ill)	150
Boston Elevated Ry Co (Boston Mass)	156
Wilkesbarre et Hazleton Ry (Wilkesbarre Pa)	6
North Eastern Ry (Londres)	50

Pour compléter la statistique, il conviendrait d'ajouter :

340 automotrices à deux moteurs commandées récemment par le Rapid Transit de New-York, un certain nombre pour la ligne anglaise de Newcastle à Tynemouth et pour le prolongement de la ligne d'Orsay jusqu'à Juvisy. Enfin un train de ce système est sur le point d'être mis en service d'essais à Londres, sur les lignes que la Métropolitan and District a décidé d'équiper électriquement.

J.-W. Blackstone.

SYSTÈME LUBRIFICATEUR AUTOMATIQUE BLACKWELL

L'importance d'une bonne lubrification dans les usines génératrices devient, par suite de la puissance croissante de ces dernières, de plus en plus importante.

Le système de la lubrification le plus répandu jusqu'à l'heure actuelle est celui des graisseurs isolés. Lorsqu'il s'applique à des installations importantes, il a l'inconvénient de nécessiter un grand nombre d'hommes constamment préposés à la garde des appareils lubrificateurs. Lorsque le nombre d'employés est diminué par suite d'économie, comme c'est généralement le cas, le rendement des génératrices est forcément abaissé par suite du graissage insuffisant, et, ce qui est pis encore, l'échauffement des coussinets produit une perte de puissance et parfois des arrêts pour réparations.

Le système de graissage automatique a été employé avec succès dans quelques-unes des grandes usines de construction récente, entre autres dans la station génératrice de Pinkston des tramways électriques de Glasgow [1].

Grâce à l'emploi de ce système, la lubrification des différents appareils est réglée d'un

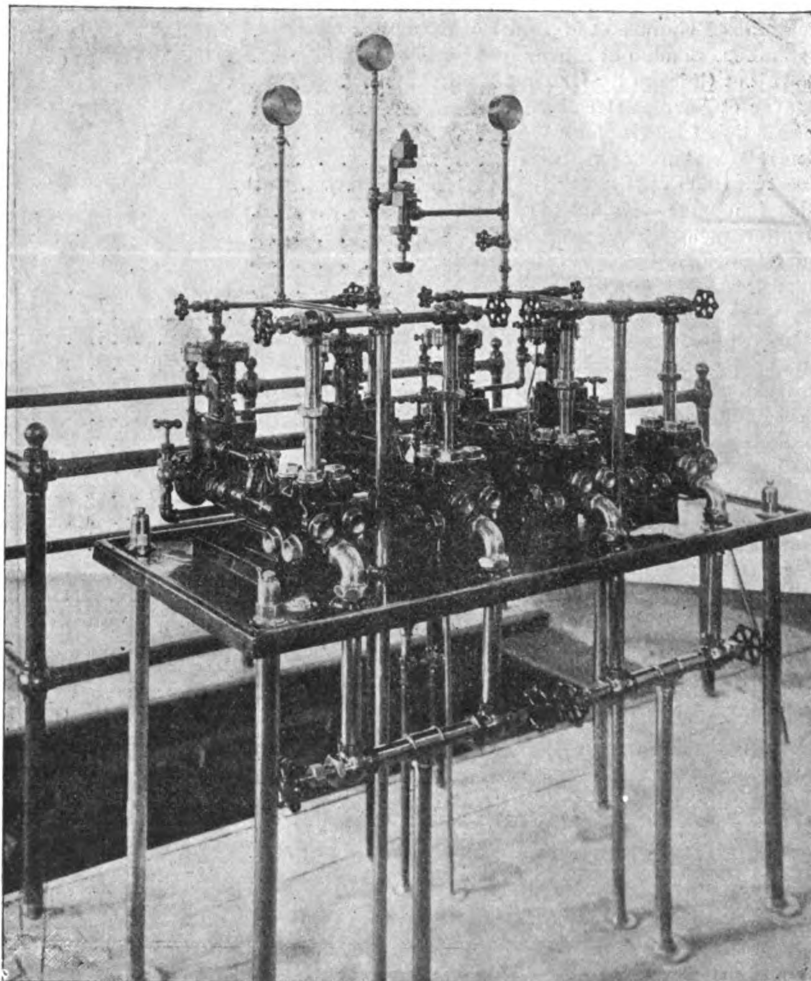


Fig. 1. — Vue d'ensemble des pompes à huile.

point central de la salle des machines et il s'ensuit une réduction importante dans l'effectif du personnel consacré au graissage.

Dans une station génératrice d'une puissance d'environ 10 000 kilowatts, l'économie résultant de l'emploi de ce système sur les salaires et sur l'huile s'est chiffrée à plus de 2 250 fr par mois, économie qui permet d'amortir en un temps très rapide le coût initial de l'installation.

Le système dont il est ici question ne dépend pas pour son bon fonctionnement des lois de la pesanteur, mais de l'effet de la vapeur à haute pression ; il permet aussi d'inonder d'huile en quelques secondes une partie quelconque d'une machine génératrice.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 392.

Ce système est essentiellement formé d'un jeu de pompes à huile et d'appareils graisseurs spécialement élaborés.

Dans l'usine de Pinkston, l'huile est mise en mouvement au moyen d'une batterie de

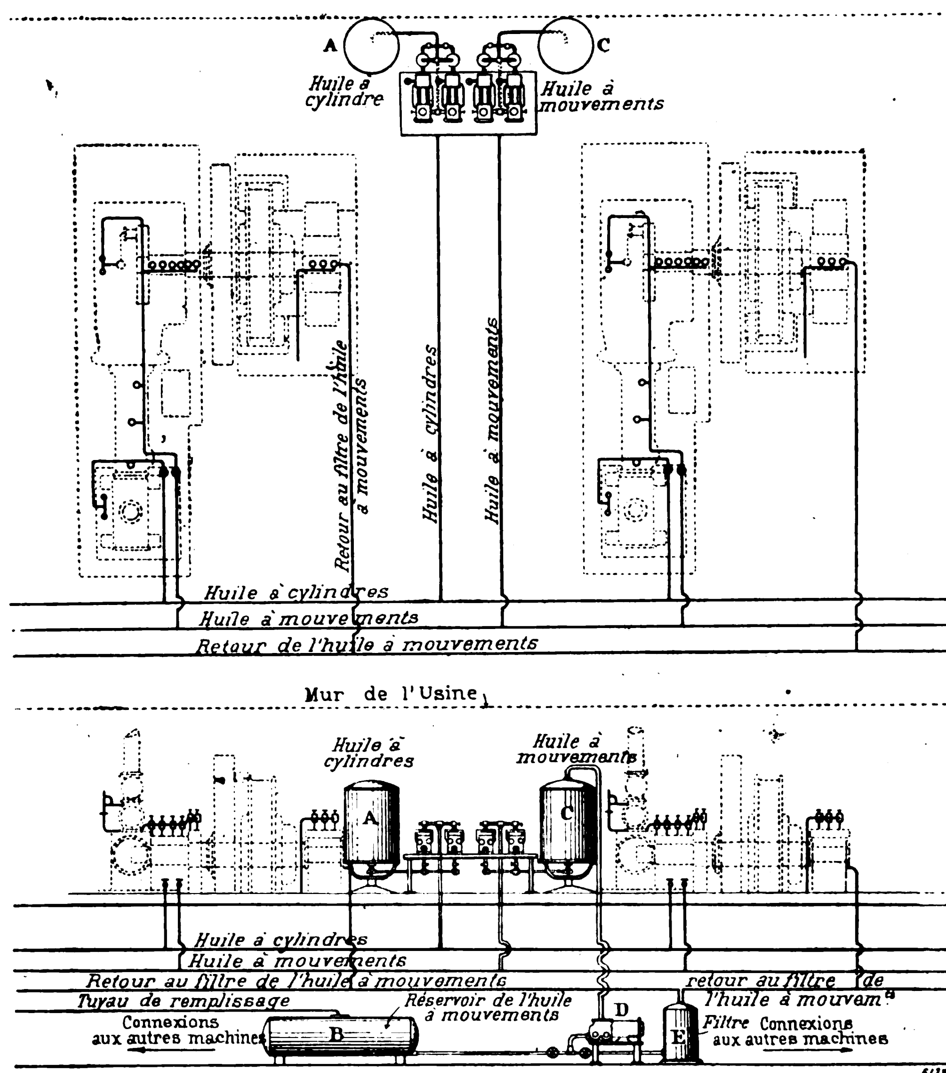


Fig. 2. — Plan d'une installation du système lubrificateur automatique.

quatre pompes duplex groupées côte à côte : deux pour l'huile à mouvements, deux pour l'huile à cylindres.

Pour l'huile à mouvements les pompes ont les dimensions suivantes :

Diamètre	75 mm
Cylindre à huile	50 »
Course commune	76 »

Pour l'huile à cylindres les pompes ont les dimensions suivantes :

Diamètre	50 mm
Cylindre à huile	53 »
Course commune	70 »

Les pompes sont prévues de façon telle qu'une seule pompe de chaque genre fonctionne à la fois, l'autre servant de réserve.

Les pompes sont montées sur une table, supportée par des tubes de cuivre poli et placés sur le plancher principal de la station génératrice (fig. 1).

Des manomètres indiquant les pressions des différentes tuyauteries d'huile et de vapeur sont montés au-dessus des pompes ; chacune de ces dernières est munie d'un régulateur automatique réglant la vitesse d'après la pression d'huile dans les conduites principales.

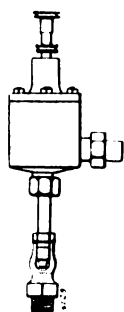


Fig. 3. — Lubrificateur pour huile à mouvements.

La figure 2 montre schématiquement le mode de montage du système lubrificateur automatique dans une usine génératrice.

La tuyauterie comporte deux circuits distincts. L'un pour l'huile à mouvements, l'autre pour l'huile à cylindres. Un réservoir B placé dans le sous-sol sert à emmagasiner la réserve d'huile qui est amenée directement du dehors par une tuyauterie disposée à cet effet.

Une pompe D également placée dans le sous-sol sert à aspirer l'huile venant soit du réservoir B, soit du filtre E, et à la refouler dans l'un des réservoirs A ou C.

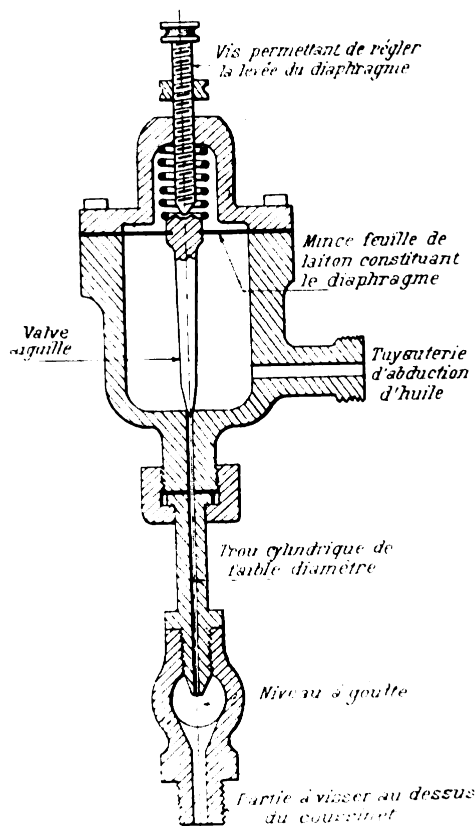


Fig. 4. — Lubrificateur pour huile à mouvements (coupe).

La salle des machines est munie d'une tuyauterie de distribution complète permettant de faire le graissage de tous les points qui en ont besoin ; en ces points l'on dispose des appareils lubrificateurs de deux types distincts suivant leur emplacement.

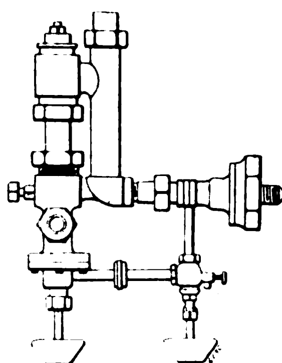


Fig. 5. — Lubrificateur pour cylindre.

Les figures 3 et 4 représentent un lubrificateur pour huile à mouvements.

Les figures 5 et 6 représentent un lubrificateur pour huile à cylindres.

Ces appareils sont munis d'un dispositif à diaphragme permettant de régler le débit d'huile sur la partie à graisser et de le supprimer complètement lorsque les pompes d'alimentation cessent de fonctionner ; on prévient ainsi toute perte d'huile et on empêche la purge complète des appareils.

Le lubrificateur représenté sur la figure 6 est muni d'une conduite de vapeur débouchant sur la face inférieure du diaphragme. Lorsque la pression de la vapeur cesse, ce dernier n'étant plus comprimé, revient en arrière et entraîne une valve qui empêche l'huile de passer.

Ces appareils une fois réglés agissent automatiquement et ne demandent plus aucune surveillance.

De plus l'huile est débitée à une pression constante tant que l'on n'agit pas sur les régulateurs disposés auprès des pompes et qui permettent d'avoir un contrôle absolu du système lubrificateur de la station. Ce système permet d'employer une grande quantité d'huile sans perte sensible.

Il est difficile d'indiquer exactement quelle est l'économie résultant de son emploi, mais d'après les chiffres fournis par les installations existantes, l'on peut dire que la lubri-

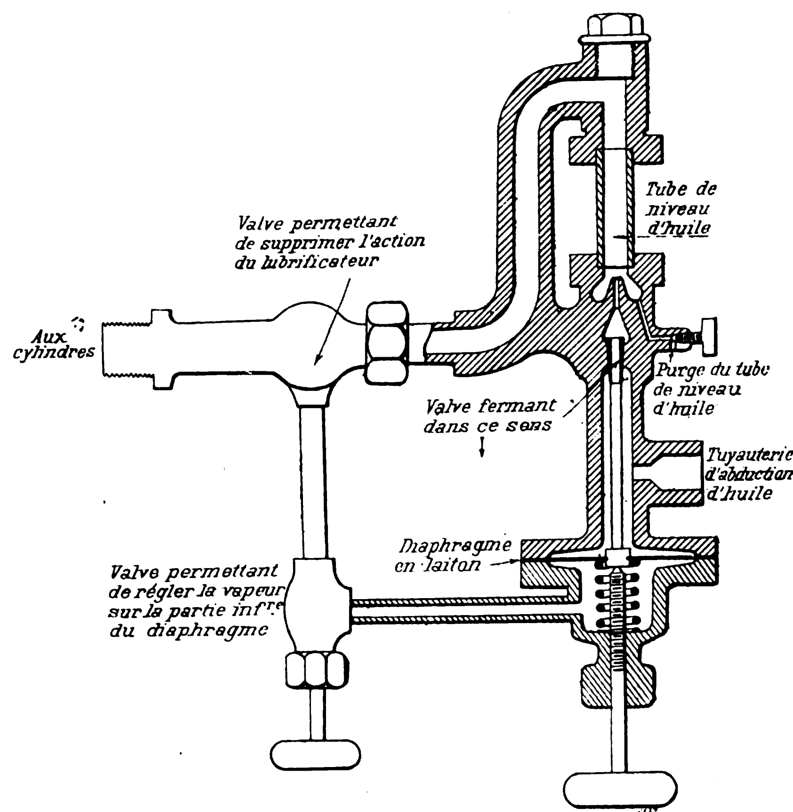


Fig. 6. — Lubrificateur pour huile à cylindres.

fication automatique permet de réduire de moitié les salaires du personnel consacré au graissage.

L'économie d'huile est également très grande et l'on peut citer comme exemple une installation récente de plus de 20 000 kilowatts qui n'emploie que 25 litres d'huile par jour.

L'application de ce système permet d'augmenter le rendement des moteurs, car l'huile est distribuée d'une façon plus abondante et plus constante qu'avec des godets graisseurs du type ordinaire.

Enfin l'usure des coussinets est également réduite et tout échauffement anormal évité.

Ph. Bertin.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur le phénomène Banti dans le fonctionnement des convertisseurs rotatifs, par **G. Giorgi**. *L'Elettricista*, t. XII, p. 105, mai 1903.

L'article du professeur Banti [1] sur le fonctionnement des convertisseurs rotatifs dans les installations de traction avec accumulateurs stationnaires a donné lieu à de nombreuses discussions [2].

E.-W. Marchant attribue les oscillations de la force électromotrice du convertisseur aux pulsations dans la vitesse de l'armature, dues au déséquilibre périodique de l'effort moteur.

W.-B. Woodhouse propose de rechercher la cause des pulsations du courant redressé dans la force électromotrice alternative primaire. Dans ce cas ce serait donc à la génératrice (à Tivoli) qu'il faudrait chercher à appliquer la correction.

W.-M. Thornton cherchant la raison des pulsations de la force électromotrice fournie par le redresseur, l'attribue aux oscillations du champ magnétique, dues à la variation périodique de la réaction d'induit. Ces oscillations peuvent être considérables parce que les noyaux laminés n'ont pas de stabilité magnétique et parce qu'ils induisent dans le circuit d'excitation un courant alternatif qui atteint une forte intensité et, par suite des effets de résonance, exalte notablement ces oscillations. Le remède qu'il indique consiste à employer des noyaux massifs et à les armer d'enroulements amortisseurs.

La théorie du phénomène a été discutée par l'ingénieur Salvadori, en traitant des courants pulsatoires dans une lecture à l'Association Electrotechnique de Rome. Dans le cas général d'une force électromotrice E et d'une force contre-électromotrice e, dont l'une est constante et l'autre pulsatoire, agissant dans un circuit de résistance R, le courant $I = \frac{E - e}{R}$ est sujet à des pulsations d'autant plus grandes en valeur relative que les valeurs moyennes de E et e sont plus voisines.

Si E est la force pulsatoire, les pulsations de I sont petites si $e = 0$ et si R a une valeur considérable; au contraire, elle atteindrait une grandeur quelconque si on oppose à E une force constante e sur un circuit de petite résistance (tel est le cas d'une batterie d'accumulateurs). Suivant cette manière de voir, il ne devrait donc être question ni d'effet de capacité, ni d'un déplacement de phase consécutif entre le courant et la force électromotrice, puisque l'explication précédente rend compte de tout.

En rapprochant les faits observés des explications proposées, M. Giorgi arrive aux conclusions suivantes :

Avant tout, la force électromotrice produite par le redresseur est dans tous les cas pulsatoire. Les phénomènes cités par Thornton sont certainement des facteurs importants dans le résultat; mais les courants induits dans le circuit d'excitation, au lieu d'exalter le phénomène, semblent plutôt devoir agir comme freins sur les variations du flux. Quant à l'influence des variations périodiques de vitesse, elle doit être très faible sur une masse qui tourne à raison de 630 tours par minute et qui a un moment d'inertie considérable. L'explication fondée sur l'écart entre le courant primaire et une sinusoïde, semble bien arbitraire; rien ne prouve qu'un courant primaire sinusoïdal doive mieux qu'un autre, engendrer une force électromotrice secondaire privée de pulsations.

Il faut tenir compte, avant tout, de ce que la nature des pulsations est certainement variable avec le courant fourni, ce qui complique notablement le phénomène. L'explication de Salvadori rend très bien compte de ce qui se passe, mais

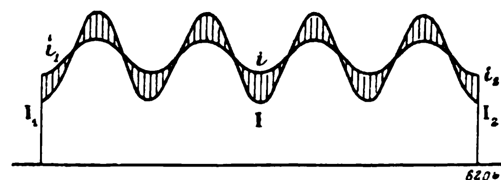


Fig. 1.

elle n'est pas en contradiction avec l'hypothèse du professeur Banti, que la batterie a l'effet d'une capacité, si l'on définit une capacité

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 113, janvier 1903.

(2) *Electrician*.

comme la propriété de donner naissance à un courant composant en quadrature.

Du courant représenté par la courbe $I_1 I_2$ (fig. 1) on peut en effet séparer une composante $i_1 i_2$ qui suit la marche de la force électromotrice et développe la même énergie que le courant total. La composante résiduelle, représentée par l'aire couverte de hachures, satisfait alors à l'équation de l'énergie nulle

$$\int_0^T I_t E_t \, dt = 0$$

et par suite doit être considérée comme en quadrature avec E [1], c'est-à-dire que sa phase n'est sensiblement ni en retard ni en avance. Cette composante dépend précisément de la force contre-électromotrice de la batterie et s'annule dans un circuit de résistance ohmique.

En d'autres termes, physiquement, on peut dire que la caractéristique du condensateur est de pouvoir emmagasiner de l'énergie. Au lieu de la batterie on peut imaginer un condensateur de capacité excessivement grande, chargé avec la même énergie et la même différence de potentiel que la batterie même. Si l'on calcule la marche du phénomène, on constate qu'elle est approximativement la même dans les deux cas. Le condensateur, dans ces conditions, donne aussi un courant intense en quadrature, et presque sans avance de phase.

Au sujet du meilleur remède à apporter au phénomène, il serait prématuré de prendre une décision nette. G. G.

DIVERS

Radiations du plomb radioactif, par **A. Korn** et **E. Strauss**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 397-405, juin 1903 [2].

Le sulfate de plomb extrait de divers minéraux complexes : bröggerite, clévéite, pechblende, alvite, samarskite, mica uranifère, euxénite, émet des radiations qui impressionnent les plaques photographiques et rendent l'air conducteur de l'électricité.

Le traitement chimique effectué, élimine le radium et le polonium, ce qui a été vérifié en soumettant à ce traitement des mélanges dans lesquels on avait introduit ces deux corps. Le sulfate de plomb radioactif ne doit donc pas ses propriétés à la présence du radium et du polonium et d'ailleurs ces propriétés diffèrent de celles d'un mélange de sulfate de plomb pur et de radium.

Les radiations émises par le sulfate de plomb actif traversent le verre, l'aluminium sous une faible épaisseur (1 mm), sont arrêtées par le cuivre, le zinc, le plomb. Le caoutchouc est traversé facilement et de plus produit une diffusion de l'impression photographique.

Avec le temps, l'activité du sulfate de plomb diminue : mais si on expose le sel aux rayons cathodiques, son activité augmente d'une manière notable et persiste pendant plusieurs semaines. Chauffé au rouge, il subit une diminution très faible ou même une augmentation d'activité. Le sulfate de plomb prend une fluorescence bleue sous l'action des rayons cathodiques comme le sel radioactif, mais n'acquiert pas de propriétés nouvelles.

Les rayons cathodiques peuvent modifier aussi l'activité électrique du sulfate de plomb, mais il n'y a pas de relation entre cette modification et celle des propriétés radiographiques.

En général, les autres sels de plomb ne sont pas radioactifs. Cependant on obtient un sulfure très actif en dissolvant le chlorure de plomb dans l'hyposulfite de sodium et laissant la dissolution filtrée se décomposer spontanément.

Pour expliquer les phénomènes observés, MM. Korn et Strauss supposent que les substances radioactives sont la source de deux émissions : elles émettent :

1° Une matière très subtile ;

2° Des radiations, de nature électromagnétique, telles qu'elles entraînent l'électricité statique (?), c'est-à-dire que les vibrations n'y sont pas transversales, mais plutôt longitudinales.

La première émission n'aurait aucun pouvoir pénétrant, ne serait pas déviée par le champ magnétique ni renforcée par les rayons cathodiques, et provoquerait surtout la déperdition électrique.

La deuxième émission serait très pénétrante,

(1) Giorgi, Courants non sinusoïdaux. *Atti dell' Associazione Elettrotechnica Italiana*.

Russell, *Journ. Instit El. Eng.*, 11 juillet 1901.

(2) Cf. Hofmann et Strauss. *Ber. der deutschen chem. Ges.*, t. XXXIII, p. 3126 ; t. XXXIV, p. 8, 907, 3033, 3970 ; Giesel, *Ibid.*, t. XXXIV, p. 3772 ; Hofmann, Korn et Strauss, *Ibid.*, t. XXXIV, p. 407 ; Hofmann et Wölfl, t. XXXV, p. 1453.

déviée par le champ magnétique comme un courant et agirait surtout sur les plaques photographiques : elle serait renforcée par les rayons cathodiques. Son action électrique serait très faible. M. L.

Etablissement par le calcul de la courbe du magnétisme, par **Ivan Dœry**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XXI, p. 185, 29 mars 1903.

Pour le fer et les aciers, la courbe du magnétisme peut, avec une grande approximation, être partiellement représentée par une expression de la forme $\mathfrak{B} = \gamma\, \mathcal{H}^n$, (1), où n et γ sont des constantes dont la valeur dépend de la région considérée de la courbe. Au genou, $n = 0,6$; au voisinage de la saturation $n = 0,1$. Posons $\gamma = 10^{p+q\mathcal{H}}$; d'où $\log \gamma = p + q\mathcal{H}$ (2). La détermination de p et q exige la connaissance de deux points au moins de la courbe, lesquels s'obtiennent d'ailleurs facilement par l'une quelconque des méthodes habituelles. Par exemple, avec deux points pris dans le voisinage du genou, on aura les deux équations :

$$\log \mathfrak{B}_1 - 0,6 \log \mathcal{H}_1 = p + q\mathcal{H}_1$$
$$\log \mathfrak{B}_2 - 0,6 \log \mathcal{H}_2 = p + q\mathcal{H}_2.$$

Tableau I

Fonte (d'après Fischer-Hinnen), $p = 2,91$, $q = -0,0018$.

$\mathcal{H}$ (d'après Fischer-Hinnen)	$\mathfrak{B}$ (d'après Fischer-Hinnen)	log γ = log $\mathfrak{B}$ − 0,6 log $\mathcal{H}$	log γ = 2,91 − 0,0018 $\mathcal{H}$	Erreur en pour cent.
13	3 600	2,888	2,887	— 0,04
15	3 900	2,8854	2,883	— 0,1
20	4 600	2,8822	2,874	— 0,3
25	5 150	2,8731	2,865	— 0,3
30	5 600	2,8619	1,856	— 0,07
33	5 800	2,8523	2,851	— 0,05
36	6 000	2,8444	2,845	+ 0,02
40	6 250	2,8346	2,838	+ 0,12
45	6 500	2,8209	2,829	+ 0,3
50	6 750	2,8099	2,820	+ 0,36
58	7 100	2,7933	2,806	+ 0,45
65	7 400	2,7815	2,793	+ 0,4
72	7 700	2,7721	2,780	+ 0,28
77	7 900	2,7657	2,771	+ 0,2
85	8 200	2,7562	2,757	+ 0,03
90	8 350	2,7492	2,748	— 0,04
97	8 600	2,7424	2,735	— 0,27
100	8 700	2,7395	2,730	— 0,31
104	8 800	2,7343	2,730	— 0,16

L'exactitude de la relation $\log \gamma = p + q\mathcal{H}$ a été vérifiée en se servant de la courbe du magnétisme d'une dynamo à courant continu en fonte, établie par Fischer-Hinnen. En relevant quatre points sur cette courbe (deux au genou et deux à la saturation), on a trouvé $p = 2,91$ et $q = -0,0018$, d'une part, et $p = 3,725$,

Tableau II

(Limite de la saturation.)

Fonte (d'après Fischer-Hinnen), $p = 3,725$, $q = 0,0003$.

$\mathcal{H}$ (d'après Fischer-Hinnen)	$\mathfrak{B}$ (d'après Fischer-Hinnen)	log γ = log $\mathfrak{B}$ − 0,1 log $\mathcal{H}$	log γ = 3,725 + 0,0003 $\mathcal{H}$	Erreur en pour cent.
112	9 000	3,7493	3,7586	+ 0,25
120	9 200	3,7559	3,7610	+ 0,16
136	9 500	3,7643	3,7658	+ 0,04
151	9 800	3,7733	3,7703	— 0,08
165	10 000	3,7782	3,7745	— 0,1
181	10 200	3,7828	3,7793	— 0,09
206	10 500	3,7898	3,7868	— 0,08
255	11 000	3,8007	3,8015	+ 0,01
270	11 100	3,8022	3,8060	+ 0,1
295	11 200	3,8022	3,8135	+ 0,3

Tableau III

Fonte (d'après Fischer-Hinnen).

$\mathcal{H}$ observé	$\mathfrak{B}$ observé	$\mathfrak{B}$ calculé		Erreur en p. 100.
13	3 600	3 592		— 0,25
15	3 900	3 879		— 0,58
20	4 600	4 514		— 0,19
25	5 150	5 054		— 1,8
30	5 600	5 525		— 1,3
33	5 800	5 783		— 0,3
36	6 000	6 009		+ 0,15
40	6 250	6 300		+ 0,8
45	6 500	6 622		+ 0,088
50	6 750	6 909	$\mathfrak{B} = \gamma\, \mathcal{H}^{0,6}$	+ 2,35
58	7 100	7 312		+ 2,99
65	7 400	7 598		+ 2,69
72	7 700	7 842		+ 1,084
77	7 900	7 997		+ 1,23
85	8 200	8 215		+ 0,18
90	8 350	8 328		— 0,26
97	8 600	8 454		— 1,7
100	8 700	8 510		— 2,19
104	8 800	8 714		— 0,99
112	9 000	9 194		+ 2,16
120	9 200	9 310		+ 1,02
136	9 500	9 532		+ 0,34
151	9 800	9 732		— 0,7
165	10 000	9 914	$\mathfrak{B} = \gamma\, \mathcal{H}^{0,1}$	— 0,86
181	10 200	10 120		— 0,79
206	10 510	10 440		— 0,57
255	11 000	11 020		+ 0,18
270	11 100	11 200		+ 0,9
295	11 200	11 500		+ 2,68

$q = 0{,}0003$ d'autre part; les tableaux 1 et 2 montrent la concordance satisfaisante qu'il y a entre γ calculé par la relation $\log \gamma = p + q\,\mathcal{H}$ et γ calculé par cette autre égalité tirée de la relation (1), à savoir : $\log \gamma = \log \mathcal{B} - 0{,}6 \log \mathcal{H}$.

Inversement, la formule (1) servira à calculer $\mathcal{B}$ pour une valeur quelconque de $\mathcal{H}$ puisqu'il est toujours facile d'obtenir γ, c'est-à-dire p et q au moyen des équations (3). Dans la pratique, on déterminera expérimentalement quatre points, deux pour le coude ($n = 0{,}6$) et deux pour l'extrémité de la courbe ($n = 0{,}1$). Dans le tableau 3 on a mis en regard les valeurs de $\mathcal{B}$ relevées sur un échantillon de fonte par Fischer-Hinnen et celles fournies par le calcul.

Avec les restrictions posées au début, on pourra donc dans la pratique utiliser la relation $\mathcal{B} = \gamma\,\mathcal{H}^n$, ou $\mathcal{B} = 10^{p+q\mathcal{H}}\,\mathcal{H}^n$, ou encore en passant des logarithmes vulgaires aux logarithmes naturels, $\mathcal{B} = e^{p+q\mathcal{H}}\,\mathcal{H}^n = e^{p+q\mathcal{H}+\mathrm{Log}.\mathcal{H}^n}$.

T. P.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 2 juin 1903.

Travaux magnétiques à Madagascar, par le Père **Colin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1298-1301.

Ces travaux ont été exécutés en 1902 et 1903.

La déclinaison, l'inclinaison et la composante horizontale du champ terrestre ont été déterminées en neuf stations échelonnées le long d'une zone de 60 km de longueur, orientée du S.-E. au N.-O ; ces déterminations complètent celles de 1901.

Les valeurs *absolues* de ces trois éléments ont été déterminées fréquemment à l'observatoire de Tananarive où a été installé un magnétographe Mascart. Ces valeurs sont données dans la note présentée à l'Académie; nous en extrayons celles qui sont relatives à avril 1903.

Déclinaison	Inclinaison	Coupe horizontale
10° 8′ 27″ N.-O.	54° 10′ 53″	0,25679

A Tananarive, de mai 1902 au mois d'avril 1903 : 1° la déclinaison a diminué de 11′, offrant un léger maximum en septembre ; 2° l'inclinaison a diminué de 1′45″ ; elle présente deux maxima, l'un en mai, l'autre assez faible en décembre ; ensuite deux minima, aux mois d'août et de mars ; 3° la composante horizontale a diminué de 0,00033 ; elle a éprouvé un maximum en janvier et deux minima, le premier en juin, le second en avril.

Sur l'anisotropie de la soie, et la valeur du coefficient de Poisson, par **F. Beaulard**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1303-1305.

Dans une note précédente [1] l'auteur indiquait dans quelles conditions il convient d'opérer pour obtenir une détermination du module de traction correspondant à un phénomène bien défini, et il donnait pour un fil de soie, formé de 20 brins, la valeur σ du coefficient de Poisson (rapport de la contraction latérale β de l'unité de longueur d'une section transversale à la valeur α de la dilatation longitudinale de l'unité de longueur d'un fil de section unité, sous l'unité de charge). Or, la valeur trouvée pour σ est plus de 300 fois plus grande que celle qui est exigée par la théorie, la soie étant considérée comme une substance isotrope; mais ce résultat n'a rien de surprenant, étant donnée la constitution quasi-fibreuse d'un fil formé par 20 brins élémentaires. Aussi, M. Beaulard avait-il songé à opérer sur un fil unique, tiré d'un écheveau commercial, et constitué par l'union de quatre baves naturelles de vers à soie ; la difficulté de la détermination précise du diamètre d'un pareil fil lui avait fait différer la publication des résultats obtenus. Ayant effectué cette mesure avec autant de précision que possible, il les publie dans la note qui nous occupe.

La moyenne générale de ces résultats est

$$E = \frac{1}{\alpha} = 6{,}50.10^{10}, \qquad \sigma\left(\frac{1}{2\mu} - 1\right) = 1{,}563$$
$$\beta = \sigma\alpha = 2{,}393.10^{-11}.$$

Le résultat trouvé pour σ ne laisse aucun doute sur l'anisotropie de la soie.

Sur le magnétisme des liquides et des cristaux, par **Georges Meslin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1305-1308.

L'auteur rappelle que le phénomène qu'il a

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 215, 8 nov. 1902.

étudié et dont il a donné la théorie dans des notes précédentes ([1]) consiste en une modification inégale que subissent les composantes principales de la lumière à travers certaines liqueurs placées dans le champ magnétique ou électrique ; il s'agit, non pas d'une absorption proprement dite, mais d'une inégalité de modification liée à des réfractions et à des réflexions produites par des lamelles orientées : les termes de *dichroïsme magnétique ou électrique des liquides* ne caractérisent donc pas rigoureusement le phénomène dont il a parlé ([2]).

L'auteur donne ensuite la liste des liquides et des solides sur lesquels il a opéré et qui lui ont fourni, par leur association, plus de 250 liqueurs actives :

Liquides.	Solides.
Sulfure de carbone.	Azotate de potasse.
Essence de térébenthine.	» de soude.
Huile de pétrole.	Carbonate de potasse.
Benzine.	Bicarbonate de soude.
Toluène.	Bichromate de potasse.
Xylène.	Chlorate.
Alcool méthylique.	Sulfate de potasse.
» éthylique.	» de soude.
» butylique.	» de fer.
» amylique.	» de nickel.
» caprylique.	» de cobalt.
Glycérine (hydratée).	» de zinc.
Aldéhyde formique.	» de cuivre.
» éthylique.	» de magnésie.
Acétone.	Sulfite de soude.
Acide formique.	Oxalate de potasse.
» acétique.	Tartrate de potasse.
Chloroforme.	Phosphate d'ammoniaque.
Bromure d'éthyle.	Roccelline.
Iodure d'éthyle.	Hélianthine.
Eau.	Rouge de Bordeaux.
	Chrysoïdine.
	Chrysophénine.

Indépendamment des solides précédents, il en a essayé une foule d'autres qui n'ont donné naissance à aucune liqueur active, en particulier des substances cubiques. C'est là, en effet, un résultat général : *aucun corps se rattachant à ce système ne figure parmi les substances actives*, tandis que tous les autres systèmes cristallins y sont représentés, on y rencontre des biaxes et des uniaxes, jamais de substances isotropes ; c'est là d'ailleurs une conséquence de la théorie précédemment indiquée : dans les corps isotropes, toutes les directions sont équivalentes au point de vue magnétique, aucun axe ne subit une action privilégiée malgré la forme compliquée de l'édifice cristallin et le phénomène en question semble lié à la symétrie de la molécule cristalline elle-même.

Les 250 liqueurs actives observées concourent toutes à la formation d'un tableau *unique*, pourvu que l'on introduise la règle des indices comme M. Meslin l'a indiquée ; il ne se présente alors aucune contradiction ([1]). La formation d'un tel tableau est impossible lorsque l'on ne tient pas compte des indices, et l'on tombe dans des contradictions dès qu'on cherche à y faire figurer plusieurs liquides ([2]).

([1]) *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 156, 159 et 354.

([2]) Cette expression de *dichroïsme magnétique* a été déjà employée par M. Q. Majorana qui a signalé une inégalité d'absorption des deux composantes principales dans le chlorure de fer et dans le fer Bravais ; ce physicien a, en outre, constaté dans ces mêmes corps l'existence d'une biréfringence magnétique concomitante avec cette absorption, ainsi que la rotation magnétique du plan de polarisation qui résulte de l'inégalité d'absorption des deux composantes principales. *L'effet Majorana* (biréfringence magnétique) est donc analogue au phénomène de Kerr. Les actions étudiées par M. Meslin se rattachent aux phénomènes magnéto-cristallins. Ils ne se produisent qu'avec des liqueurs mixtes, c'est-à-dire constituées par un liquide associé à un solide cristallin.

M. Meslin a étudié plusieurs centaines de liqueurs actives dans des champs magnétiques inférieurs à 10 000 C. G. S., et ce n'est que dans quelques cas seulement (une dizaine au plus) qu'il a constaté de la biréfringence, et encore il s'agissait de différences de marche qui n'atteignaient qu'une très petite fraction de longueur d'onde.

Ces actions ne sont pas liées non plus à des phénomènes d'absorption, ainsi que le montre la théorie précédemment exposée par M. Meslin : ils se produisent avec une foule de liqueurs incolores dont il a poursuivi l'étude afin de classer les sels cristallins et les liquides au point de vue de leur pouvoir magnétique, en utilisant seulement des mesures optiques.

([1]) Dans la note publiée dans le numéro du 30 mai, t. XXXV, p. 355, ligne 28, *au lieu de* il n'a trouvé qu'une exception, *il faut lire* il n'a trouvé aucune exception.

([2]) « Voici, dit M. Meslin, un exemple qui montre immédiatement les difficultés que l'on rencontre à chaque instant : L'alcool éthylique donne le dichroïsme négatif avec le chlorate de potasse et le dichroïsme positif avec l'oxalate de potasse ; il faudra donc les placer dans l'ordre suivant pour représenter cette inversion :

Chlorate de potasse,
Alcool,
Oxalate de potasse.

» Cherchons maintenant à introduire dans ce tableau l'acide phénique qui donne avec l'oxalate le dichroïsme

***Sur la conductibilité calorifique du fer dans le champ magnétique*, par A. Lafay.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1308-1310.

En 1850, Maggi (¹) annonça à l'Académie de Vérone que la conductibilité calorifique du fer était modifiée par l'action du magnétisme. Pour le démontrer, ce physicien employait le mode expérimental utilisé par de Sénarmont dans ses recherches classiques sur la conductibilité des cristaux. Une plaque de tôle, convenablement isolée par des supports mauvais conducteurs, était placée au-dessus des pôles d'un électro-aimant en fer à cheval ; elle était recouverte d'un enduit, à base de cire, qui fondait lorsqu'on la chauffait en son centre et dessinait une isotherme elliptique lorsque l'électro-aimant fonctionnait. Maggi observa que le grand axe de l'ellipse s'orientait perpendiculairement à la direction du champ.

Après avoir été contesté par divers physiciens et en particulier par MM. Naccari et Bellati (²), l'effet signalé par Maggi a été de nouveau observé par M. Korda (³) qui, se basant sur ses expériences et sur des considérations théoriques, a annoncé que la conductibilité du fer est très sensiblement affaiblie dans le sens des lignes de force du champ, mais reste inaltérée dans une direction perpendiculaire.

Ces contradictions ont donné à M. Lafay l'idée d'entreprendre quelques expériences sur ce sujet et d'examiner en particulier si, en employant des champs très intenses, il ne serait pas possible d'observer des phénomènes semblables sur d'autres corps que le fer.

En répétant l'expérience de de Sénarmont sur des lamelles de verre et de diverses substances médiocrement conductrices, il a obtenu des ellipses très nettes dans des champs d'environ 20 000 unités. Il avait d'ailleurs précédemment réussi la même expérience avec de la tôle mince de fer ou d'acier au nickel.

Dans tous les cas, l'isotherme avait son grand axe normal au champ et une ellipticité croissante avec l'intensité du magnétisme. La découverte de Maggi semblait donc entièrement confirmée quand M. Lafay eut l'idée de répéter les mêmes essais dans le vide.

Dans ces conditions on n'obtient plus d'ellipse et il a pu s'assurer que l'effet précédemment observé était dû à la production d'un courant d'air chaud qui, sous l'action du magnétisme, se propage normalement à la direction du champ. Ce phénomène est analogue à celui que l'on rend visible par une expérience de cours bien connue, consistant à souffler une bougie en l'approchant de l'espace interpolaire d'un puissant électro-aimant.

Dans le cas qui nous occupe, l'air chaud s'éloigne du point central échauffé en léchant, pour ainsi dire, la surface de la lame et en protégeant les régions médianes de cette dernière contre le refroidissement.

Cette action doit être d'autant moins sensible que la lame sur laquelle on opère est plus épaisse ; et c'est en réalité la relation inexplicable qui paraissait exister entre l'ellipticité des isothermes et l'épaisseur des plaques qui a conduit l'auteur à faire des essais dans le vide.

Dans quelques expériences, MM. Naccari et Bellati ont, de leur côté, retrouvé l'effet Maggi, en opérant sur des tôles très minces, alors que des plaques plus épaisses ne donnaient rien ; mais ces physiciens ont attribué cette divergence à une action mécanique due à l'attraction magnétique.

---

négatif, et avec le chlorate le dichroïsme positif ; il devrait pour traduire ces faits avec les mêmes conventions, être placé après l'oxalate et avant le chlorate : il n'aurait donc pas une place unique, et il y a contradiction.

» Au contraire, si nous tenons compte de la règle des indices, l'acide phénique étant plus réfringent que les deux sels en question, devra être rangé cette fois avant l'oxalate et après le chlorate, c'est-à-dire dans la partie médiane du tableau, au voisinage de l'alcool ; sa position, par rapport à celui-ci, étant déterminée grâce aux autres solides qu'on cherchera à introduire dans le tableau.

» On aura donc la suite que voici :

	Indices.
1. Chlorate de potasse. .	entre 1,45 et 1,50
2. Alcool.	1,36
3. Acide phénique. . . .	1,54
4. Oxalate de potasse . .	entre 1,47 et 1,50

qui résume tous les phénomènes observés avec ces corps.

» Cet exemple montre en même temps comment on peut classer les liquides au point de vue de leur magnétisme, car les numéros d'ordre de ce tableau varient dans le même sens que les pouvoirs magnétiques. »

(¹) Maggi, *Archives de Genève*, t. XIV, 1850, p. 132.

(²) Naccari et Bellati, *Nuovo Cimento*, t. I et II, 1877, p. 72-89 et 107-125.

(³) D. Korda. L'influence du magnétisme sur la conductibilité calorifique du fer. *Comptes rendus*, t. CXXVIII, 1899, p. 418; *Journal de Physique théorique et appliquée*, 4ᵉ série, t. I, 1902, p. 307 ; *Écl. Élect.*, t. XVIII, p. 310.

M. Lafay a répété l'expérience de de Sénarmont sur des lames de fer mince, soumises à des efforts de traction progressivement croissants jusqu'à rupture, et dans aucun cas les isothermes n'ont acquis une ellipticité sensible. Donc si, comme il est très naturel de le supposer, des efforts mécaniques altèrent l'isotropie des corps en ce qui concerne la conductibilité, l'action produite dans le cas considéré est inaccessible au mode d'investigation employé et ne peut expliquer l'anomalie observée.

Cette explication est au contraire actuellement évidente si l'on remarque que la diminution d'épaisseur de la lame de fer, tout en rendant plus importante l'action de l'air ambiant, fait croître en même temps la résistance du circuit magnétique et, par suite, l'intensité du flux extérieur qui provoque le phénomène de convection.

M. Lafay a eu l'occasion de constater que cet effet perturbateur peut encore faire sentir son influence dans le cas où l'on cherche à étudier les variations de conductibilité sur des baguettes d'assez grande section placées dans un champ intense. Pour que des expériences de cette nature soient concluantes, il est nécessaire de les répéter dans le vide.

L'expérience de de Sénarmont, correctement effectuée, ne donnant plus l'effet Maggi, il y avait lieu d'examiner si ce phénomène n'existerait pas, mais à un très faible degré d'intensité.

Dans ce but, M. Lafay a découpé en deux parallélipipèdes égaux un petit cube de fer de manière à pouvoir intercaler entre ces deux parties une lame conductrice isolée par deux feuilles de mica très minces. Le passage d'un courant dans cette lame permet d'échauffer symétriquement et dans des conditions toujours identiques les deux moitiés du cube qui sont fortement serrées l'une contre l'autre.

Une pince thermo-électrique peut être appliquée sur l'une ou l'autre face de manière à suivre l'accroissement de la température en fonction du temps lorsqu'on fait passer le courant dans la lame médiane.

Ce système est contenu dans une enceinte vide d'air dont la température est maintenue uniforme par un courant d'eau extérieur. On peut, sans rien changer à la disposition de ses éléments essentiels, le placer entre les pièces polaires de l'électro-aimant de manière que le flux de chaleur se propage normalement ou parallèlement au champ.

Dans ces conditions on a toujours obtenu des résultats identiques et indépendants de l'orientation du cube.

Etant donnée la précision qu'il est possible d'atteindre dans ces expériences, l'auteur croit pouvoir en conclure que la différence présentée par la conductibilité du fer dans les deux directions considérées est inférieure à 5/1 000e.

La conductibilité du cube paraît plus grande lorsque le champ n'existe pas, mais on ne peut indiquer avec certitude l'ordre de grandeur de cette différence, car la suppression du champ entraîne des variations difficilement appréciables de la résistance ohmique de la lame de chauffage, ainsi que de la force électromotrice du couple thermo-électrique.

En résumé, ces recherches de M. Lafay tendent à prouver :

1° Que l'effet observé par Maggi est dû à un phénomène de convection à l'abri duquel il conviendra de se mettre toutes les fois que l'on étudiera la conductibilité des corps dans le champ magnétique ;

2° Que, dans un champ intense, la conductibilité du fer subit très probablement une diminution appréciable, mais dont la valeur est à très peu près la même quelle que soit l'orientation mutuelle des flux magnétique et calorifique.

***Sur l'utilisation de l'énergie pour les transmissions de télégraphie sans fil*, par G. Ferrié.**
Comptes rendus, t. CXXXVI, p. 1310-1312.

L'énergie que l'on peut utiliser pour une transmission de télégraphie sans fil, avec transformateur Tesla, dépendant des capacités que l'on peut introduire dans le circuit excitateur et de leur potentiel de décharge, il y a avantage à donner aux antennes une grande surface, afin de pouvoir les accorder sur un circuit excitateur contenant de grandes capacités.

Mais lorsqu'on fait usage de bobines d'induction, on ne peut dépasser une certaine valeur pour ces capacités sans cesser d'avoir un bon fonctionnement de la bobine ; l'antenne ne peut donc pas dépasser certaines dimensions. D'autre part, le potentiel de décharge étant, à peu près, en raison inverse de la capacité, l'énergie utilisable est sensiblement constante. Il convient

dans ce cas de choisir les capacités du circuit excitateur, de manière à permettre d'accorder l'antenne avec trois ou quatre spires du secondaire du Tesla, seulement.

Toutefois il est possible d'employer plusieurs bobines d'induction pour une même antenne, en les montant soit sur un même Tesla, soit sur des Tesla différents dont les secondaires sont en quantité ou en série sur l'antenne.

L'emploi de transformateurs industriels présente l'avantage de permettre d'employer de très grandes capacités en circuit excitateur (et d'utiliser aussi une grande énergie), car le potentiel de décharge augmente, dans certaines limites cependant, avec ces capacités par suite de phénomènes de résonance propres de l'instrument. Mais lorsqu'on dispose d'antennes déterminées, on ne peut augmenter beaucoup ces capacités, puisqu'il doit y avoir accord entre l'antenne et le circuit excitateur, et que le potentiel de décharge est limité. L'énergie utilisable avec ce montage est donc limitée aussi. M. Marconi a tourné la difficulté en employant d'abord toute l'énergie disponible à faire des oscillations de période quelconque dans un premier circuit contenant le plus de capacités possible. Ces oscillations sont ensuites portées à très haute tension par un premier Tesla, qui charge ainsi une autre capacité choisie, de manière que la période de sa décharge puisse être accordée sur l'antenne au moyen d'un deuxième Tesla.

M. Ferrié a trouvé préférable de diviser toutes les capacités que peut charger le transformateur industriel, en deux ou plusieurs groupes placés dans deux circuits oscillants différents, mais montés sur un même oscillateur. Tous ces circuits, réglés de manière à produire des oscillations de périodes égales, agissant sur l'antenne, par l'intermédiaire d'un nombre égal de Tesla, dont les secondaires sont montés en série ou en quantité sur l'antenne.

Le réglage d'accord se fait par tâtonnements, au moyen des indications de l'ampèremètre thermique placé comme il a été dit dans une précédente communication [1] en agissant de manière égale sur les secondaires s'ils sont en quantité, ou sur un seul s'ils sont en tension.

Le mouvement vibratoire communiqué à l'antenne a une période égale à celle de chacun des circuits excitateurs et l'on peut donc mieux utiliser l'énergie dont on dispose, en n'employant, cependant, que la longueur d'onde que l'on veut, et en augmentant ainsi l'effet produit par cette énergie.

Forme de l'antenne. — De nombreuses expériences ont montré à l'auteur que, toutes choses égales d'ailleurs, les transmissions étaient d'autant plus efficaces que les ampèremètres thermiques, placés comme il a été dit, indiquaient des débits plus forts. Mais, comme l'intensité de l'onde stationnaire va en diminuant depuis le sol jusqu'au sommet, il y a avantage à maintenir à cette intensité une valeur élevée sur la plus grande hauteur possible de l'antenne.

Les antennes de grande hauteur sont donc avantageuses déjà à ce point de vue, mais leur partie supérieure n'a en réalité qu'une faible utilité.

Il est possible aussi d'employer des antennes dissymétriques construites de manière que leur partie supérieure représente la plus grande partie du quart d'onde donné par l'antenne totale. On a ainsi une intensité élevée sur une grande partie de la hauteur de l'antenne.

En terminant, M. Ferrié parle des valeurs des intensités indiquées par les ampèremètres thermiques : Lorsqu'on excite une anterne filiforme de 35 m de longueur au moyen d'une forte bobine d'induction, on mesure, à 1 m de la prise de terre, une intensité efficace de 2 ampères environ, au moyen d'un ampèremètre thermique. Si l'on peut considérer comme exacte cette indication de l'instrument, et si l'on admet que chaque décharge donne naissance à trois oscillations égales, d'une durée de 4×10^{-7} chacune, on calcule que l'intensité efficace moyenne de chacune des oscillations est de 100 ampères environ.

Sur les rayons émis par le plomb radioactif, par **Korn** et **Strauss**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1312-1313.

Nous ne faisons que signaler cette note, une analyse d'un mémoire publié par les auteurs dans les *Drude's Annalen* paraissant dans ce numéro.

Sur l'émanation du radium et son coefficient de diffusion dans l'air, par **P. Curie** et **J. Daune**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1314-1316.

Lorsqu'on étudie le rayonnement de Becque-

[1] *Écl. Élect.* t. XXXV, p. 502.

rel émis par les parois d'un réservoir en verre, scellé à la lampe, et contenant l'émanation du radium (c'est-à-dire contenant de l'air activé par une solution d'un sel de radium), on constate que l'intensité du rayonnement I du réservoir diminue avec le temps t suivant une loi exponentielle. L'activité diminue de moitié en quatre jours [1] ; on a

$$I = I_0 e^{-bt} \quad \text{ou} \quad \frac{dI}{dt} = -bI,$$

avec $b = 2{,}01 . 10^{-6}$ sec^{-1}.

On peut répéter l'expérience précédente avec un réservoir en verre qui, au lieu d'être scellé, communique avec l'atmosphère par un tube de verre capillaire. On trouve alors que l'intensité du rayonnement diminue plus rapidement que dans le premier cas, mais toujours suivant une loi exponentielle caractérisée par un coefficient b' plus grand que b. Dans cette expérience une partie de l'émanation s'écoule par le tube capillaire, et la différence $b' - b = a$ est caractéristique de cet écoulement. On peut admettre que le rayonnement des parois du réservoir est proportionnel à la quantité d'émanation qu'il contient. La loi exponentielle indique alors que la vitesse d'écoulement de l'émanation par le tube capillaire est proportionnelle à la quantité d'émanation qui se trouve dans le réservoir.

MM. Curie et Daune ont trouvé que le coefficient a varie proportionnellement à la section s du tube capillaire, en raison inverse de la longueur l du tube, en raison du volume v du réservoir, et qu'il est indépendant de la forme du réservoir. On a donc

$$a = \frac{Ks}{lv},$$

K étant un coefficient qui caractérise la diffusion de l'émanation dans l'air.

A la pression atmosphérique à la température de 10° environ

$$K = 0{,}100 \text{ unités C. G. S.}$$

« La loi des longueurs se vérifie très bien ; la loi relative à la section est aussi vérifiée d'une façon assez satisfaisante ; il semble cependant que la vitesse d'écoulement croît avec la section du tube un peu moins vite que cette section.

D'après ces lois, l'émanation se diffuse comme un gaz qui serait mélangé à l'air en petite proportion. Le coefficient K représente alors le coefficient de diffusion du gaz dans l'air. Ce coefficient est voisin de ceux trouvés pour certains gaz ; celui relatif à l'acide carbonique dans l'air à 10° est 0,15 environ ; celui de la vapeur d'éther dans l'air est 0,09 environ.

On peut du reste remarquer que le coefficient de diffusion de l'émanation du radium dans l'air est beaucoup plus facile à mesurer que le coefficient de diffusion d'un gaz, le rayonnement du réservoir indiquant à chaque instant la quantité d'émanation qu'il contient.

M. Rutherford et Miss Brooks ont déjà fait une expérience pour déterminer le coefficient de diffusion de l'émanation du radium dans l'air [1]. Ils admettent, *a priori*, que l'émanation se comporte comme un gaz et déterminent le coefficient de diffusion par la méthode de Loschmidt. Ils trouvent que le coefficient de diffusion dans l'air est voisin de 0,08, résultat en accord avec les mesures de MM. Curie et Daune. Ceux-ci ont constaté en outre que, dans d'autres circonstances encore, l'émanation du radium se comporte comme un gaz [2].

---

(1) Curie, *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 351, 6 décembre 1902.

(1) *Chemical News*, 25 avril 1902.

(2) 1° Un réservoir de volume v_1, contenant de l'émanation, émet un rayonnement J ; on le met en communication avec un deuxième réservoir inactif de volume v_2 ; une partie de l'émanation passe dans ce deuxième réservoir, mais l'équilibre n'est établi qu'au bout d'un certain temps t. Pendant ce temps, l'émanation est détruite dans une proportion connue. Soit J' l'intensité qu'aurait émise le premier réservoir au bout du temps t, si la communication avec le deuxième réservoir n'avait pas été établie. Soit J_1 l'intensité mesurée au bout du temps t. On trouve que

$$\frac{J_1}{J'} = \frac{v_1}{v_1 + v_2},$$

c'est-à-dire que l'émanation s'est partagée entre les deux réservoirs proportionnellement à leurs volumes. L'expérience donne le même résultat avec divers degrés de vide.

2° Deux réservoirs sont activés et communiquent entre eux par un tube de verre. On porte l'un d'eux à 350°, l'autre restant à la température de 10°. L'activité rayonnante du tube resté froid augmente et l'on vérifie que l'émanation se partage entre les deux réservoirs dans la même proportion que le ferait la masse d'un gaz dans les mêmes conditions.

M. Rutherford a constaté que l'émanation du radium se condense à la température de l'air liquide; MM. Curie et Daune ont vérifié ce fait important en faisant l'expérience suivante : Un réservoir de verre, de grand volume, contient l'émanation du radium ; ce réservoir est terminé par un tube capillaire. Si l'on plonge ce tube dans l'air liquide, toute l'émanation s'y condense. En séparant à la lampe le tube capillaire, on constate que le gros réservoir est devenu inactif, et que le petit tube capillaire, devenu très actif contient toute l'émanation.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Birmingham

Les derniers progrès de l'industrie électrique en Grande-Bretagne. Adresse inaugurale de M. **Henry Léa**, *président*.

La période considérée par l'auteur s'étend depuis le commencement de 1898 jusqu'à la fin de 1901.

Pendant ces quatre années, le nombre et la puissance des machines à vapeur destinées à la commande des dynamos ont augmenté dans de fortes proportions, ainsi que le montrent les chiffres suivants, tirés des renseignements fournis par dix-neuf constructeurs, parmi lesquels les plus importants du Royaume-Uni. Quoiqu'il soit loin de comprendre la production totale du pays, ce tableau en marque bien les progrès.

Année.	Nombre des machines livrées (devant être affectées à la commande des dynamos).	Puissance totale utile.	Puissance moyenne utile par machine.
1898	967	86 000	89
1899	1 649	168 000	102
1900	1 655	210 000	127
1901	1 836	295 000	161

Dans les chiffres communiqués par dix-sept constructeurs de dynamos et de moteurs à courant continu, on a pu établir, pour ces machines, le tableau ci-dessous :

Année.	Nombre de dynamos et de moteurs à courant continu.	Puissance totale en kilowatts.
1898	2 540	39 300
1899	4 736	65 200
1900	5 095	83 600
1901	6 799	107 400

Les constructeurs de machines à courants alternatifs sont relativement peu nombreux. Si l'on réunit ensemble les appareils monophasés, di et triphasés, on obtient les chiffres suivants, qui donnent la production de cinq maisons seulement :

Année.	Nombre de machines.	Puissance en kilowatts.
1898	35	9 322
1899	37	8 974
1900	39	8 209
1901	77	8 165

Presque toutes les machines à courants polyphasés installées aujourd'hui en Grande-Bretagne sont d'importation étrangère, mais le moment approche où l'industrie nationale en fournira la plus grande partie.

En ce qui concerne la distribution d'énergie électrique, on peut citer comme modèle l'installation de la Leicestershire and Warwickshire Electric Power Company, dont le matériel générateur comprend cinq machines à vapeur de 3 000 chevaux, actionnant des alternateurs triphasés à 10 000 volts.

C'est dans la traction qu'ont été réalisés les progrès les plus marqués. En 1898, la longueur totale des voies ferrées exploitées à l'électricité était de 585 km, et le nombre des voitures de 2 117. Les chiffres correspondants en 1901 étaient de 1 240 km et 3 821 voitures. Certaines lignes sont exploitées par des systèmes autres que le trôlet aérien; la prise de courant par contact superficiel appliquée par la Wolverhampton Corporation donne jusqu'ici toute satisfaction.

Sur les grandes lignes de chemins de fer, la traction à vapeur ne paraît pas encore devoir céder la place à la traction électrique. On pourra en effet quand on le voudra atteindre une vitesse de 160 km : h. avec des locomotives à vapeur sur les voies bien construites.

L'auteur traite brièvement de l'application des moteurs à gaz à la commande des dynamos.

P. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Au sujet du système de traction Ward Leonard. Communication de **M. Ward Leonard**, après la discussion du 21 novembre 1902. *Transaction of Am. Inst. of. El. Eng.* t. XX. p. 89-92, janvier 1903.

Après la réunion de New-York, M. Dowie a

présenté un tableau comparatif des capacités des commutatrices et des moteurs. Pour la forme la plus simple du système Ward Leonard, M. Dorvie estime « la capacité de la génératrice à 148, celle du moteur étant représentée par 100, en se basant sur un rendement de 90 p. 100 et une marge de 33,5 p. 100 pour la réduction du champ. »

Si par capacité M. Dowie entend la puissance en kilowatts, M. Ward Leonard n'admet pas le nombre de 148; il a montré que la puissance fournie par la génératrice est identique, à peu près, à celle reçue par le moteur puisqu'il n'y a pas de perte par rhéostats dans le circuit induit. Si l'on entend par capacité le poids, l'auteur fait remarquer que la commutatrice fonctionnant à des vitesses beaucoup plus élevées que les moteurs, le poids par kilowatt sera beaucoup plus faible pour chaque moitié de la commutatrice.

On a contesté plusieurs assertions émises par l'auteur dans sa communication du 4 décembre 1902, et qu'il n'a pu suffisamment développer.

L'auteur a d'abord affirmé que son système entraînerait une économie d'entretien sur la locomotive [1]. Il est également moins dispendieux que l'emploi du moteur-série dont l'amortissement est surtout très élevé par suite des ruptures brusques du courant qui traverse à la fois l'induit et les inducteurs.

On a prétendu que le poids de la locomotive serait d'au moins 50 p. 100 supérieur au poids nécessaire à l'effort de traction sur les roues motrices. L'auteur ne le croit pas; mais même en l'admettant, le tiers du poids de la locomotive serait inutile, mais il porte sur les roues motrices et peut être utilisé pour l'effort de traction, tandis que dans la locomotive à vapeur, le poids du tender et des parties de la locomotive ne portant pas sur les roues motrices dépasse de beaucoup le tiers du poids total. On oublie trop facilement que le problème principal dans le transport des marchandises est d'augmenter l'effort de traction, et on ne peut dans la locomotive à vapeur augmenter le nombre des roues motrices à cause de la rigidité nécessaire du mécanisme. Le poids sur les roues motrices a été augmenté dans ces dernières années jusqu'à la limite compatible avec la solidité des voies.

L'auteur estime que ce qu'il faut poursuivre c'est un nombre plus grand de roues motrices indépendantes, ce qui est réalisé dans son système; il a montré en effet qu'avec un moteur à excitation indépendante il ne peut se produire de patinage capable de faire atteindre au moteur sa pleine vitesse, tandis que le maximum, d'effort de traction ne peut être obtenu avec une combinaison de moteurs-série que par l'emploi de bielles parallèles.

L'auteur a soutenu que les frais de premier établissement seraient moindres avec son système qu'avec une distribution par sous-stations pour le même service.

En effet, dans le système Ward Leonard la commutatrice de chaque locomotive a une capacité proportionnée à la puissance des moteurs, tandis qu'il réalise une économie considérable de cuivre dans la trasmission et alors que la capacité des commutatrices des sous-stations doit équivaloir plusieurs fois celle qui est représentée par la charge moyenne. Une expertise récente a montré qu'à Londres on devait compter 150 francs par kilowatt pour les sous-stations et 170 francs par kilowatt pour les conducteurs (Engineering 8 novembre 1901). L'auteur affirme qu'avec son système le coût par kilowatt pour les commutatrices serait beaucoup plus faible que 150 francs et la dépense pour les conductenrs n'excéderait pas 50 francs par kilowatt. Cette comparaison serait encore plus favorable si au lieu de s'appliquer au trafic suburbain d'une ville comme Londres, on considérait un service de transport sur une grande ligne.

L'auteur n'admet pas, enfin, que le prix par kilowatt du moteur-série soit inférieur à celui du moteur à excitation indépendante qui exige une isolation moindre et sujet à moins d'échauffement dans les enroulements inducteurs.

P. L. C.

[1] Cette dernière renferme une chaudière et une série de parties oscillantes dont l'entretien et l'amortissement sont certainement très élevés, si on les compare à ceux d'un moteur électrique à carcasse fermée et circuit induit fermé.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXVI Samedi 11 Juillet 1903. 10e Année. — N° 28

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Les applications de l'électricité à la commande des appareils de levage de toutes sortes et de toutes forces s'étendent de plus en plus, et nous en avons souvent entretenu nos lecteurs ; mais, s'il est relativement facile d'obtenir des constructeurs de ces appareils des dessins et surtout des images de leurs produits, il n'en est pas de même de ce qui intéresse le plus les employeurs de ces machines, à savoir des renseignements certains sur leurs rendements. M. P. Dawson vient de terminer, dans le journal *Traction and Transmission*, une série d'articles des plus remarquables, par une suite de tableaux donnant les principales particularités du fonctionnement d'un grand nombre de grues électriques; nous lui empruntons les chiffres qui vont suivre, et qui comblent en partie cette lacune.

D'après M. Dawson, l'on peut, pour des charges de une à trois tonnes, compter sur un rendement maximum de 80 p. 100: rendement mécanique, ou rapport du travail de charge levée à l'énergie électrique fournie au moteur de la grue, résultat des plus remarquables ; avec une installation bien étudiée, on peut compter sur un rendement moyen de 70 p. 100 et considérer 60 p. 100 comme un rendement déplorable. Le rendement des grues électriques est, en général, très supérieur à celui des appareils à vapeur et hydrauliques, fait confirmé, d'ailleurs, par l'extrême rapidité de leur adoption dans les cas les plus divers. L'emploi des dynamos motrices à marche lente permet de réduire les trains d'engrenages au minimum ; le réglage de la vitesse et le renversement de la marche peuvent s'accomplir électriquement sans mécanismes de changement ni de renversement de la vitesse.

Comme exemple typique, on peut citer le résultat d'une marche de trois années d'une

(1) *L'Éclairage Électrique*, 9 mai 1903.

grue de 1 tonne 1/2 du port de Hambourg, commandée par une dynamo de 35 chevaux à 340 tours ; vitesse moyenne de la levée avec la charge de 2,5 tonnes, 0,882 m par seconde, et maximum de 0,960 m, en tenant compte des vitesses moindres au départ et à l'arrêt des levées. Rendement mécanique, 90 p. 100 avec engrenages taillés tournant dans l'huile ; diamètre des tambours de treuil, 500 mm ; réduction des engrenages, 1/8 ; vitesse réelle du moteur, 290 tours ; rendement des bornes du moteur à la charge, 70 p. 100.

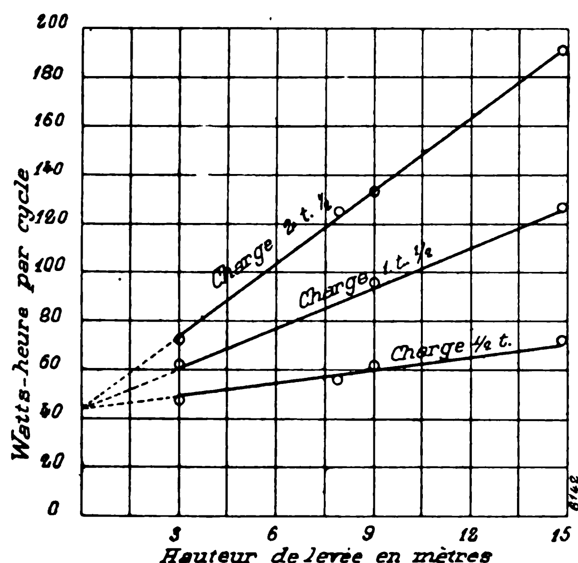


Fig. 1.

Les résultats obtenus représentés par le diagramme (fig. 1) ont été obtenus avec une grue de l'Union Electritäts, à volée, de 2,5 tonnes, avec moteur de 35 chevaux continu en série, de 250 à 350 tours pour la levée, et moteur de 6 à 8 chevaux, de 600 à 1 000 tours pour le pivotement. Ce diagramme montre que, pour toutes les charges entre 1/2 tonne et 2,5 tonnes, le travail de levée est proportionnel à la hauteur de cette levée, tandis que celui du pivotement est indépendant de la charge, et d'environ 44 watts-heure par levée, ce qui s'explique par le fait que le poids de la grue pivotante est beaucoup plus considérable que celui des charges levées.

Essais de six grues de Hambourg.

Watts-heure par cycle.

CYCLE		CHARGE kil.	GRUE					
			N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
			Chargeant les navires.					
Levée avec charge 8 m, rotation 140° ; descente 3 m. Levée à vide 3 m, rotation 140° ; descente 8 m.	A	500	50,6	55	57,4	64,2	63,4	65,8
		1 500	84,7	84,7	84,8	94	93,1	108,8
		2 500	117,9	123,5	119,4	124,6	131,4	145
Levée avec charge 15 m, rotation 140° ; descente 9 m. Levée à vide 9 m, rotatton 140° ; descente 15 m.	B	500	62,7	70,5	83,8	77,1	79,4	98,2
		1 500	123,8	125,9	125,8	120,7	135,2	133,7
		2 500	188,7	190,2	156,3	173,5	195,7	192
			Déchargeant les navires.					
Levée en charge 3 m, rotation 140° ; descente 8 m. Levée à vide 8 m, rotation 140° ; descente 3 m.	C	500	42,8	47,3	45,9	51,3	53,1	59,6
		1 500	53,7	61,2	58,7	62,2	64,3	74,3
		2 500	71,7	73,1	77,2	72,6	82,7	85,4
Levée en charge 9 m, rotation 140° ; descente 15 m. Levée à vide 140° ; descente 9 m.	D	500	62,4	60,2	74,6	66,4	69,9	90,2
		1 500	95,2	94,7	102	93,3	103,3	119,8
		2 500	146,8	132,3	133,3	126,1	141,8	175,4

Les résultats du tableau ci-dessus, ont été obtenus avec des grues de Nagel et Kaempf, de Hambourg, équipées électriquement par Siemens et Halske, de 2 500 kg, pouvant aller

jusqu'à 3 250 kg, et de deux types à volées de 11,6 m et 12,7 m ; le roulement est commandé par une dynamo de 5 chevaux à 500 volts et 560 tours ; vitesse du roulement, 15 m par minute. La dynamo de levée, en série, est de 27 chevaux à 350 tours ; vitesses des levées, 1 m par seconde avec 1 250 kg et 0,70 m avec 2,500 kg. La rotation de la volée, commandée par une dynamo de 5 chevaux, se fait à la vitesse maxima de 2 m par seconde au crochet

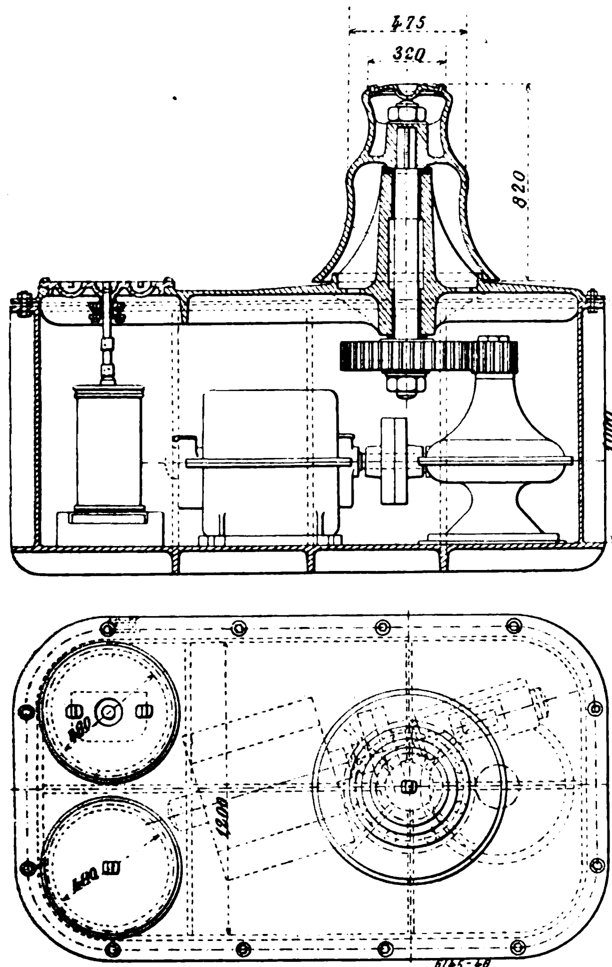


Fig. 2 et 3. — Cabestan de Benrath de 2 tonnes.

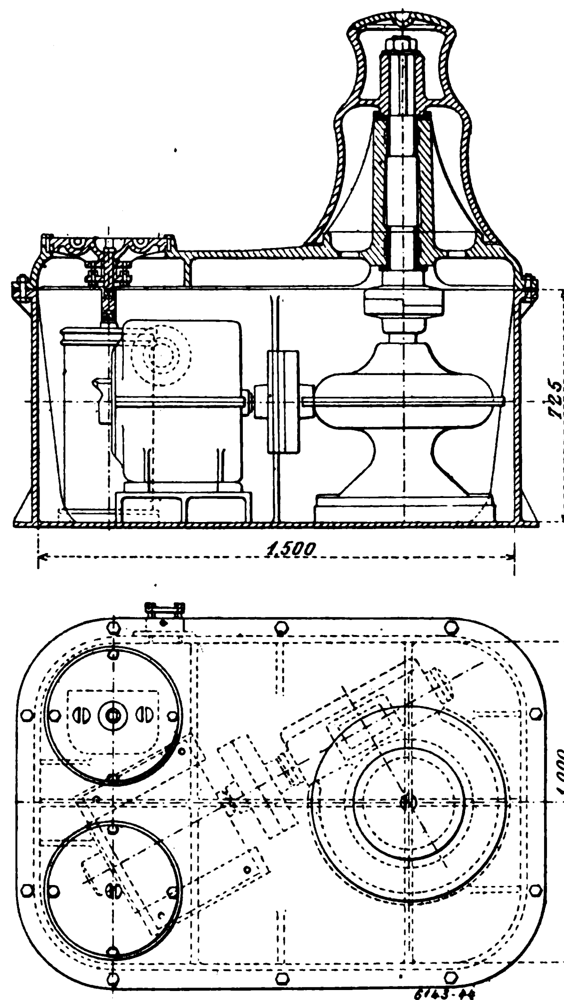


Fig. 4 et 5. — Cabestan de Benrath d'une tonne.

de la volée. Les charges étaient levées de 15 m hors de la cale des navires, pivotées de 140°, abaissées de 10 m et déchargées, puis on remontait le crochet de 10 m, on retournait la grue de 140° et on descendait le crochet de 15 m dans la cale du navire.

Les dépenses d'énergie correspondantes sont données par le premier tableau p. 44.

L'intensité du courant pour le roulage de la grue sans charge était de 10 ampères.

Le tableau suivant donnent les éléments d'une comparaison entre les rendements de grues électriques et hydrauliques de même puissance : 1 500 kg. Les grues hydrauliques sont à trois cylindres de 150 mm de diamètre, moufllés, et pouvant lever chacun 500 kg ; rapport du moufllage 1/6 ; le pivotement est commandé par deux cylindres de 100 mm. Les opérations sont les suivantes : Pour décharger les navires : levée avec une charge de

CHARGE	WATTS-HEURE par cycle.	AMPÈRES pendant la levée.	VITESSE DE LEVÉE en mètres par seconde.	AMPÈRES pour le pivotement.
0		25	1,7	7
500	87	37	1,4	7
1 500	148	55	1	7,5
2 500	182	73	0,7	8

11 à 15 m, pivotement de 140° en charge, descente de 4 m, puis ces mêmes manœuvres en sens inverse et sans charge. Pour le chargement des navires, levée en charge de 4 m, pivotement en charge de 140°, descente en charge de 11 à 15 m, puis ces mêmes manœuvres en sens inverse et sans charge. Les chiffres de ce tableau montrent l'économie de la commande électrique, due principalement à ce que sa dépense s'ajuste automatiquement à la charge.

Comparaison des grues électriques et hydrauliques.

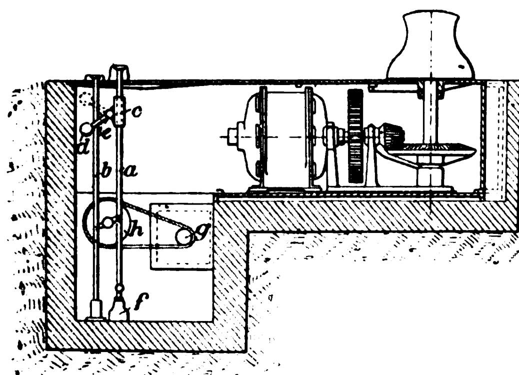
CHARGE LEVÉE tonnes.	HAUTEUR DE LA LEVÉE ou de la descente	GRUES ÉLECTRIQUES watts-heure.	GRUES HYDRAULIQUES	
			Litres d'eau.	Watts-heure équivalents.
		Chargeant les navires.		
1/2	15 m	56,5	70,68	98,6
1/2	11	48,5	58,91	81
3/4	15	69,5	114,93	160
3/4	11	58,5	91,29	127,2
1	15	91,5	114,83	160
1	11	73,5	91,29	127,2
1 1/4	15	109,5	158,98	221
1 1/4	11	80,5	123,67	172,4
1 1/2	15	132,5	158,98	221
1 1/2	11	105,5	123,97	172,4
		Déchargeant les navires.		
1/2	15 m	35,5	70,68	98,6
1/2	11	32,17	58,91	82
3/4	15	40,5	82,45	114.9
3/4	11	37,17	70,68	98,6
1	15	46,5	82,45	114.9
1	11	43,17	70,68	98,6
1 1/4	15	51,5	94,22	131,4
1 1/4	11	48,17	82,45	114,9
1 1/2	15	60,5	94,22	131,4
1 1/2	11	57,17	82,45	114.9

Le rendement des grandes grues pour très grosses charges est extrêmement variable et toujours très inférieur à celui des petites grues, ce qui tient à la complication des trains d'engrenages allant du moteur à la charge. Tandis qu'avec les petites grues, on compte pour le moteur de levée environ 10 chevaux par tonne de charge, la puissance de ce même moteur descend, dans la grue de 150 tonnes de Kiel, à 0,7 de cheval par tonne de charge : la dynamo y fait 400 tours par minute et la vitesse de la levée n'est que de 0,30 m par seconde, avec une réduction de 252. Cette grue a donné les résultats indiqués dans le tableau de

Données des grandes grues Benrath avec dynamos de l' « Union Elektricitäts ».

LOCALITÉS	PUISSANCE	CHARGE D'ESSAI	RAYON maximum		CHARGE	MÈTRES PAR SECONDE	MOTEURS principaux		MOTEURS de levée auxiliaires		MOTEURS du trôlet		MOTEURS du pivotement	
			Charge	Rayon			Puissance	Tours par minute	Puissance	Tours par minute	Puissance	Tours par minute	Puissance	Tours par minute
	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Mètres			en chevaux		Chevaux		Chevaux		Chevaux	
Kiel	150	200	150	20	150	0,016	1 de 70	580	35	750	70	580	25	970
			41	41	75	0,033								
			15	42	15	0,154								
Bremerhaven . .	150	200	150	22	150	0,010	2 de 17	500			26	540	26	540
					75	0,020	5 chacun							
					37	0,046								
					18	0,150								
Brème	100		100	22			2 de 26	540	26	700	12	700	3de12	700
Bremerhaven . .	50	65					2 de 17,5	500			26	540	12	845

la page 45. Le moteur qui commande le roulement est de 12 chevaux à 635 tours. Le pivotement est commandé par deux moteurs en série de 18 chevaux chacun à 510 tours ; avec une charge de 147 tonnes à 18,50 m de volée et à la vitesse de 29 m par minute au crochet, il dépense de 25 à 30 ampères sous 540 volts ; on peut faire un tour complet de 4 à 17 minutes, avec des vitesses de 55 à 13 m par minute au rayon de 35 m (1).



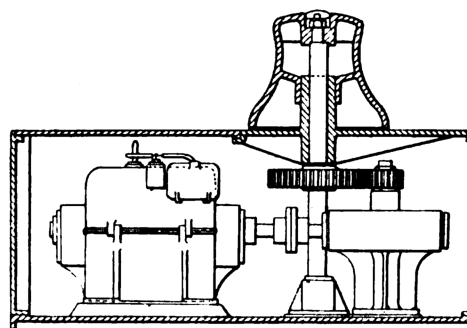


Fig. 6 et 7. — Cabestan Lahmeyer d'une tonne.

Les tableaux de la page 46 donnent des renseignements sur quelques appareils très puissants.

Parmi les appareils de manutention et de levage électriques des plus intéressants, on peut citer les *cabestans*, si fréquemment employés dans les gares de marchandises et sur les quais ; M. Dawson donne, à leur sujet, des détails instructifs.

Ces appareils doivent exercer des efforts variant, en général, de 1 à 10 tonnes, avec des vitesses de 0,50 m à 1 m par seconde. Les transmissions les plus fréquemment employées de la dynamo à l'arbre du cabestan sont celles à vis sans fin, et elles sont placées dans une fosse avec la dynamo. La vitesse est réglée par un compteur disposé hors de la fosse ou dans la fosse et manœuvré soit à la main, soit au pied, avec, dans ce dernier cas,

(1) *Éclairage Électrique*, 11 octobre 1902, p. 39.

Résultats obtenus avec la grue de 150 tonnes du port de Brême.

CHARGE tonnes.	VITESSE MAXIMA de levées en mètres par minute.	VOLTS	AMPÈRES	RENDEMENT p. 100	VITESSE MAXIMA de descente.
198	1,50 m	530	190	48	1,3 m à 3,64 m
147	1,76 m	520	145	56	1,03 m à 6,5 m
96	1,82 m	530	120	45	3,64 m à 6,5 m
46	2,22 m	545	86	36	6,4 m à 6,5 m
à vide	3,00 m	525	62		6,5 m

Énergie dépensée pour le roulement.

CHARGE tonnes.	VOLTS	AMPÈRES	VITESSE EN MÈTRES par minute.
198	530	27	1,71 m
147	540	20	6, » m
à vide	550	8,5	9,5 m

Fonctionnement d'un pont roulant de 25 tonnes.

CHARGES tonnes.	VITESSE EN MÈTRES par seconde.	VOLTS	AMPÈRES	KILOWATTS	RENDEMENT p. 100
			Levée.		
à vide	0,0916	438	9,4	4,12	0
5,62	0,0642	442	16,9	7,46	47,2
17,50	0,0508	440	30,7	13,5	64,5
21,70	0,0474	434	34,95	15,15	66,6
24,57	0,0461	435	39,55	17,2	64,5
			Descente.		
à vide	0,0575	438	8,45	3,7	
	0,0866	441	8,875	3,9	
5,62	0,00948				
	0,038				
17,92	0,01434				
	0,0513	Freinage électrique : dépense 1,5 ampère.			
21,69	0,01645				
	0,0602				

dispositifs pour limiter la rapidité de son action et le rappeler quand le pied quitte la pédale. Les cabestans ne doivent guère tourner que dans un seul sens, et être pourvus de freins automatiques les empêchant de se défiler à contre-sens en cas d'arrêt de la charge ; ce frein est commandé par des solénoïdes.

Les figures 2, 3, 4 et 5 représentent deux types de cabestans de la Société de Benrath pour une et deux tonnes, le premier avec simple réduction par vis sans fin, et le second avec réduction double, par vis sans fin et pignons droits, et entraînement de la vis par accouplement flexible. La vis sans fin, à butées sur billes, attaque une jante en bronze dans

laquelle est taillé son pignon. Le tambour du cabestan peut s'enlever facilement ; il est à deux diamètres, pour fortes et moyennes charges. L'enveloppe est d'une seule pièce avec couvercle boulonné sur joint au caoutchouc. Le contrôleur est dans l'enveloppe.

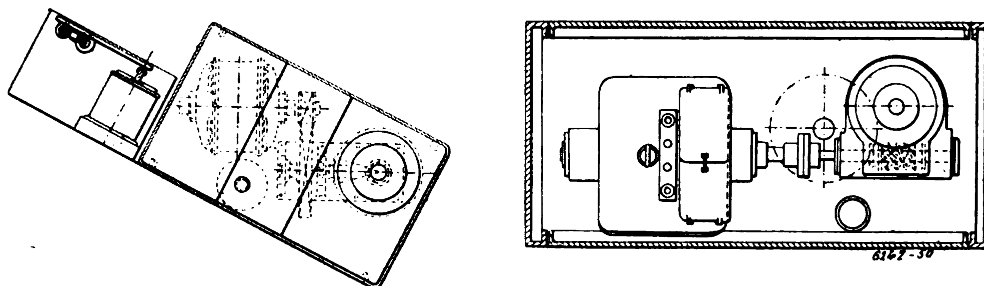


Fig. 8 et 9. — Cabestan Lahmeyer de 30 tonnes.

Le cabestan de LAHMEYER (fig. 6 et 7), commandé par engrenages au moyen d'un moteur de 18 chevaux à 600 tours exerce une traction de 1 tonne à la vitesse de 1 m par seconde.

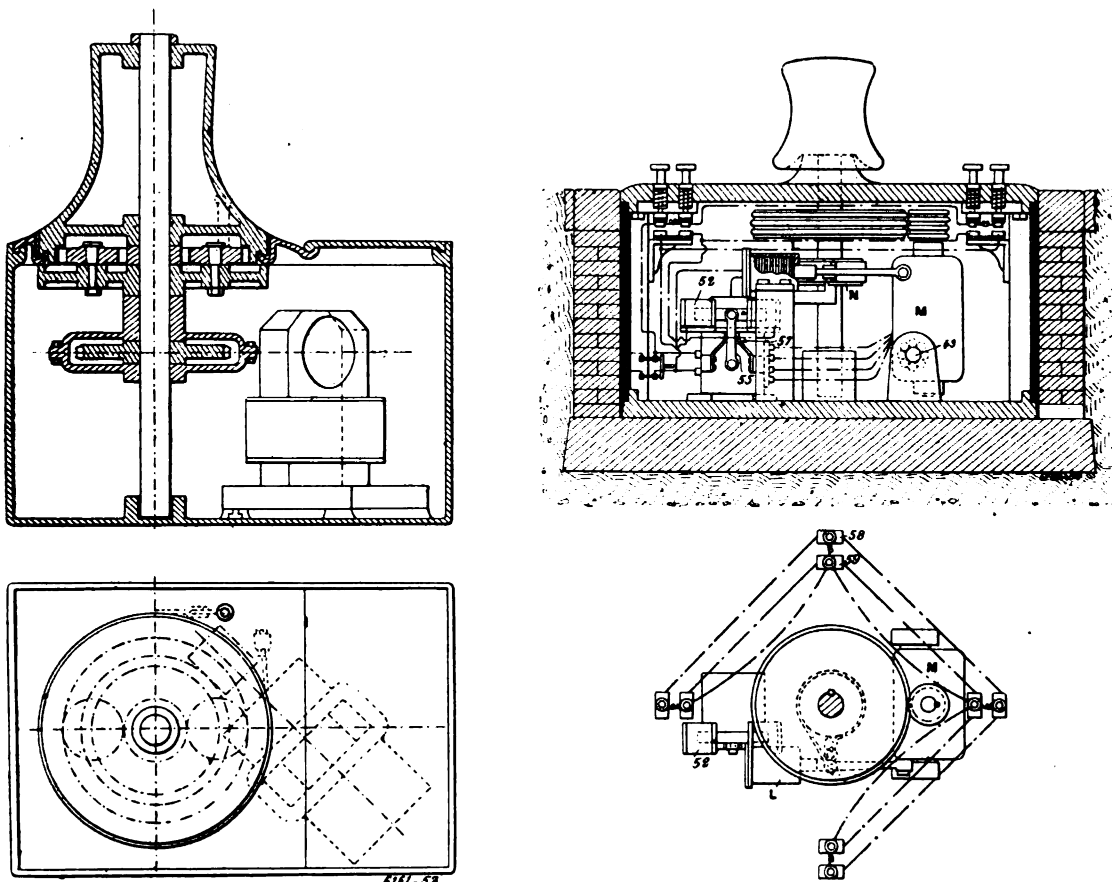


Fig. 10 et 11. — Cabestan Wimshurst et Hollick.

Fig. 12 et 13. — Cabestan Baldwin et Sundh.

Le commutateur est commandé par deux tiges *a* et *b*, dont *a* ordinairement levée par le contrepoids *d* ; quand on l'abaisse à la pédale, la chaîne *hg* coupe les résistances avec une

vitesse limitée par le frein à glycérine *f*, puis, après la suppression de toutes ces résistances, le cliquet *e* empêche *d* de retomber. En abaissant *b*, on coupe le moteur instantanément.

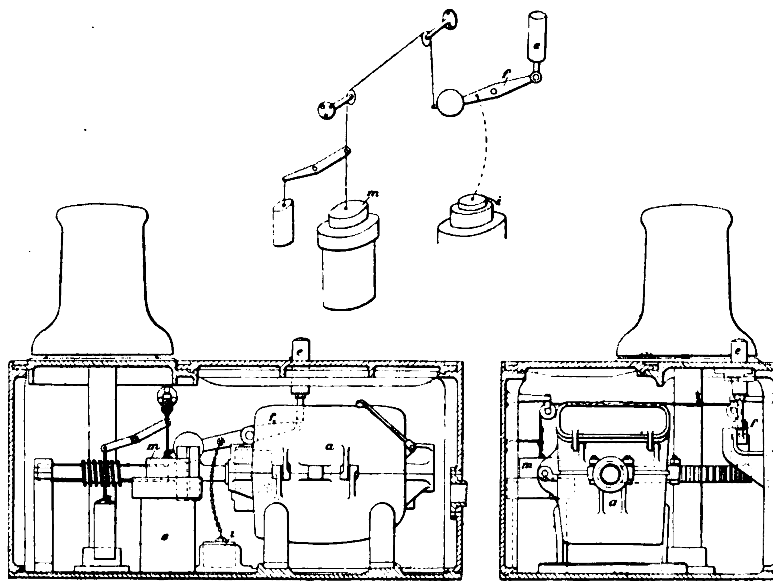


Fig. 14, 15 et 16. — Cabestan Armstrong Whitworth.

Le cabestan Lahmeyer, représenté par les figures 8 et 9, exerce une traction de 30 tonnes à la vitesse de 25 cm par seconde ; il est commandé par transmission à engrenages et vis sans fin.

La roue de vis sans fin du cabestan de MM. Wimshurst, Hollick et C° commande (fig. 10 et 11) par le pignon A les pignons BB, en prise avec la denture intérieure du

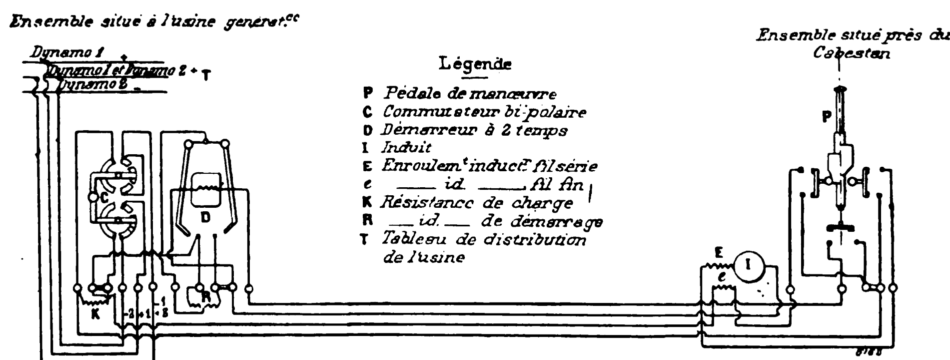


Fig. 17. — Cabestans du pont de l'entrée du canal de Briare. Schéma de la commande électrique.

cabestan et montées sur le plateau fou C que l'on serre par un frein pour entraîner le cabestan qui peut ainsi s'arrêter sans arrêter le moteur.

Le cabestan de MM. Baldwin et Sundh, construit par la Compagnie *Otis*, est commandé par son moteur M (fig. 12 et 13) au moyen d'entraîneurs Minotto à frottement, qui entrent en jeu quand le solénoïde L attire M autour de son pivot 43. Ce mouvement desserre en même temps le frein N, qui se resserre automatiquement quand le courant cesse de passer

en L. Les touches 58 et 59 ferment le circuit sur le solénoïde L, de manière à desserrer son frein, et sur l'un ou l'autre des solénoïdes 52 ou 53, de manière à faire, par le commutateur 55, partir le moteur dans un sens ou dans l'autre. Dès le lâcher de ces touches, le frein se serre et arrête le moteur.

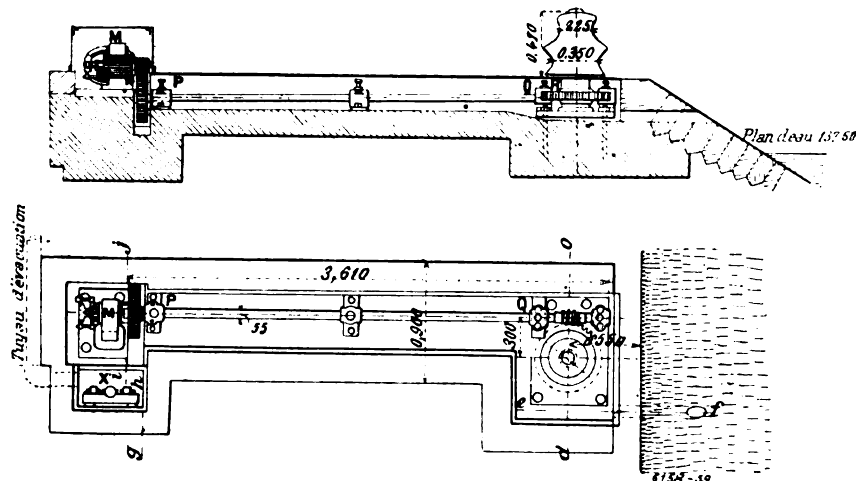


Fig. 18 et 19. — Cabestan du pont de l'entrée du canal de Briare. Coupe et vue en plan.

Dans le cabestan de Armstrong Whitworth, représenté par les figures 14, 15 et 16, la mise en train se fait en deux temps, en appuyant sur la pédale *e*, qui, d'abord, laisse le contact à résistance liquide *m* descendre de la quantité nécessaire pour la marche à faible vitesse, puis, en continuant d'abaisser *e*, on soulève le poids *i*, dont la résistance avertit, et on amène ainsi *m* au fond de sa course, de manière à marcher en grande vitesse.

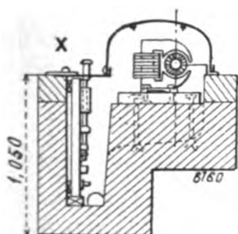


Fig. 20. — Coupe *ghij*, (fig. 19).

Comme application des cabestans électriques à la traction des bateaux sur les canaux, nous citerons ceux installés à l'entrée du pont du *canal de Briare*, commandés (fig. 17 à 21) par une dynamo M, à 120 volts et 1 800 tours qui l'entraîne par la transmission à vis sans fin PQRS, sur manchon en bronze UV. Le courant est envoyé, de l'usine d'éclairage du pont, par un pédalier à six courants X et le tableau de distribution (fig. 17), qui comprend : 1° Un commutateur permettant d'utiliser l'une ou l'autre des génératrices de l'usine ; 2° un rhéostat de démarrage pouvant absorber 4 000 watts, de manière que les génératrices ne puissent pas subir les à-coups dus à la mise en marche des cabestans ; 3° un démarreur à deux temps permettant de faire varier progressivement la résistance de démarrage à mesure que la vitesse du cabestan augmente. La puissance moyenne du cabestan est de 3,5 chevaux à 1 800 tours, avec un effort de 500 à 800 kg, suffisant pour remorquer à la vitesse de 0,80 m par seconde une grosse péniche. Une batterie d'accumulateurs de 60 éléments pouvant fournir chacun 20 ampères pendant six heures, et chargée par l'usine, permet de fonctionner pendant l'arrêt de cette usine.

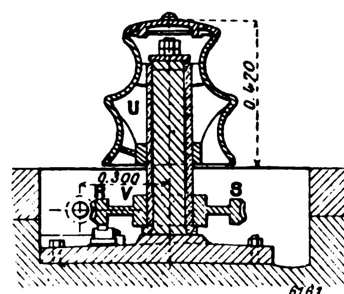


Fig. 21. — Coupe *od*, (fig. 19).

***

L'électricité se prête mieux que l'air comprimé même à la commande des petites poulies ou palans mobiles de levage, telles, par exemple, que celle de M. Averly (fig. 22 à 24) portée en *ll* sur les rails *mm*, dont la dynamo *a* commande la chaîne *i* par le train *defgh*,

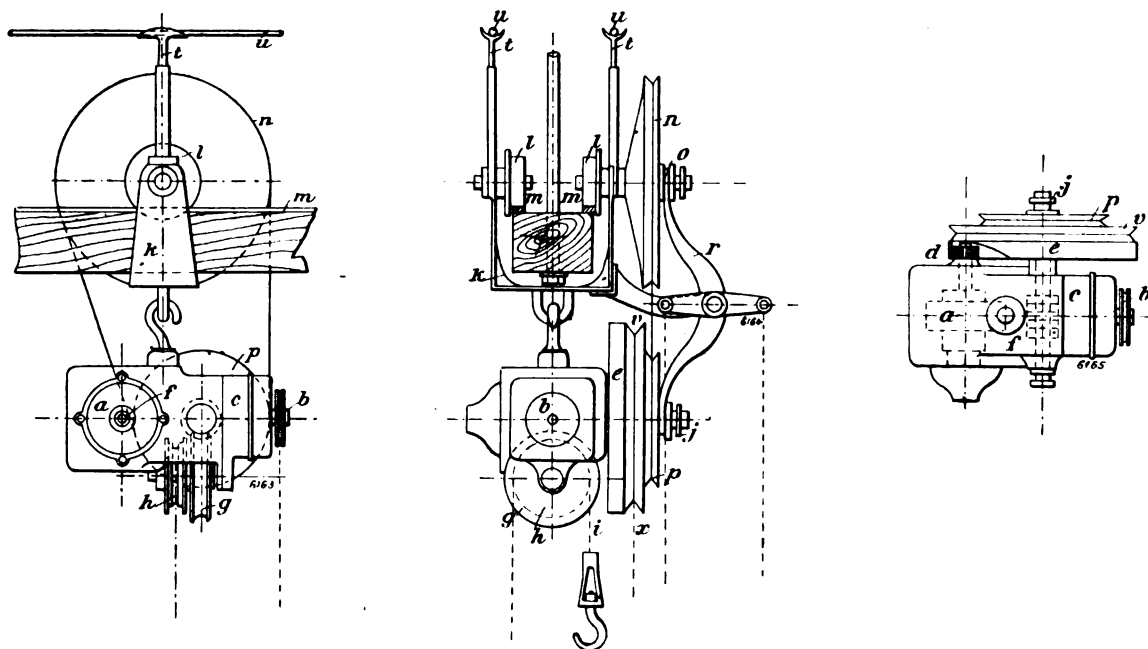


Fig. 22 à 24. — Palan électrique Averly.

embrayable en *j* par le levier *r*, qui embraye aussi la poulie *n* du roulement, de sorte que sa manœuvre permet d'actionner à volonté la levée ou le roulement. Une chaîne *x* permet de marcher à la main en cas de manque d'électricité. L'électricité est amenée par le trôlet

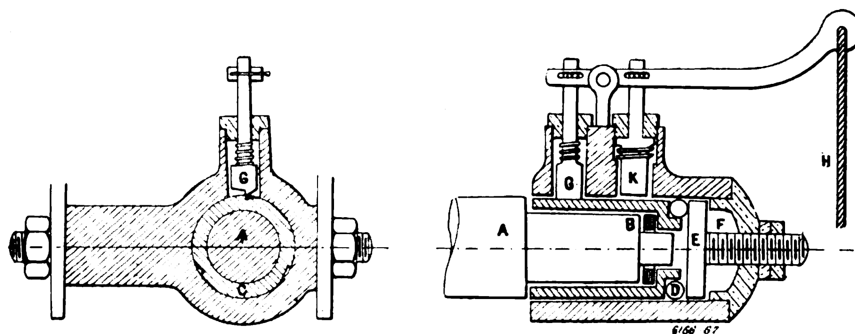


Fig. 25 et 26. — Palan Lorin. Détail du frein.

tyk, et le commutateur de la dynamo est commandé par la poulie *b*, de manière à la faire tourner tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Le palan de M. Lorin, de Doulancourt, a (fig. 25 et 26) l'arbre A de sa vis sans fin enveloppé d'un manchon C, appuyé sur un cuir B avec une pression réglée par la vis E, sur le plateau E de laquelle A roule à billes. Le cliquet G, en prise avec les dents de C, empêche la descente de la charge, qui a lieu quand on tire la corde H de manière à lever G ; et, si l'on

continue cette traction, le sabot K vient faire frein sur D. Si la charge dépasse la limite prévue par le serrage de la vis F, A glisse sur son cuir sans entraîner D [1].

(*A suivre.*)

G. RICHARD.

SUR LA PRODUCTION DES HARMONIQUES

DANS LES MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS

Le but de cette note est de rechercher les principales causes de la production des harmoniques dans les générateurs, moteurs et transformateurs tournants, et les moyens d'en éviter la production ou, tout au moins, d'en rendre l'amplitude suffisamment faible pour qu'ils deviennent inoffensifs. Notre étude ne se limite pas aux générateurs seuls, parce que, dans un réseau en charge, les harmoniques de la courbe de tension peuvent provenir aussi bien des appareils d'utilisation que des alternateurs.

Nous nous occuperons exclusivement des harmoniques de la courbe de tension, les seuls vraiment intéressants au point de vue des effets de résonance, les seuls d'ailleurs sur lesquels le constructeur puisse agir [2].

ALTERNATEURS. — La force électromotrice aux bornes d'un alternateur est la somme des forces électromotrices induites dans les différentes spires réparties à la périphérie de l'induit et placées en série entre les bornes de la machine. Étant donné le mode de construction habituel des machines, l'ordre des harmoniques qui peuvent se produire est le même pour les différentes spires, et, par suite, la force électromotrice aux bornes ne sera certainement pas affectée d'autres harmoniques que de ceux qui existent dans la courbe de la force électromotrice développée dans une spire. Il est donc naturel d'examiner tout d'abord le cas d'une spire unique.

La force électromotrice induite dans un circuit étant le taux de variation par rapport au temps du flux embrassé par ce circuit, il faut chercher l'origine des harmoniques dans la forme de cette variation, laquelle peut résulter de différentes causes. Ou bien elle provient seulement du mouvement relatif de la spire et du flux de force, celui-ci ne subissant aucune modification dans sa grandeur ou sa distribution, ou bien elle est produite par des variations de la grandeur du flux ou de la distribution des lignes de force, ou bien enfin elle résulte de ces deux causes réunies. Nous devons donc fixer tout d'abord notre attention sur la nature et la constitution du flux.

Mais auparavant, et pour faciliter la suite de cette étude, nous allons examiner d'une manière générale le cas où, pour un motif quelconque, le flux total, au lieu de se maintenir constant, est affecté de variations périodiques de fréquence multiple de celle du courant de l'induit. Nous supposerons en outre que ces variations du flux proviennent elles-mêmes de

---

[1] *Revue industrielle*, 18 avril 1903.

[2] La forme de la courbe du courant dépend de celle de la courbe de tension et en outre des données particulières du circuit. Il peut arriver par exemple que la courbe de tension soit affectée d'harmoniques très accusés alors que la courbe du courant est presque parfaitement sinusoïdale. C'est le cas très curieux d'un transformateur à circuit magnétique ouvert signalé par M. Armagnat (*L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 373, 15 mars 1902). Le fait s'explique d'ailleurs aisément par des considérations très simples.

variations de l'induction de même grandeur relative en tout point du circuit magnétique.

Dans ces conditions, le flux embrassé par une spire est également affecté de variations dont la grandeur est proportionnelle à la valeur instantanée de ce flux. Il pourra donc être mis sous la forme :

$$\Phi = \Phi_1 [1 + f(m\omega t)] ;$$

Φ_1 est la valeur qu'aurait le flux embrassé si le flux total était constant

$$\Phi_1 = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + \ldots\ldots + A_p \sin(p\omega t - \varphi_p) + \ldots\ldots ;$$

$f(m\omega t)$ est une fonction périodique de pulsation $m\omega$:

$$f(m\omega t) = B_1 \sin(m\omega t - \psi_1) + \ldots\ldots B_q \sin(qm\omega t - \psi_q) + \ldots\ldots$$

On voit, en faisant subir à l'expression de Φ une transformation connue, que cette grandeur est affectée d'harmoniques dont l'ordre est de la forme générale :

$$mq \pm p,$$

les harmoniques $mq + p$ et $mq - p$ interférant entre eux.

La force électromotrice sera par suite affectée des mêmes harmoniques. Donc, chaque fois que le flux inducteur subit des variations périodiques dont la fréquence est m fois celle du courant induit, il y a nécessairement production des harmoniques $m - 1$ et $m + 1$ en interférence et généralement d'harmoniques d'ordre plus élevé qui n'offrent pas d'intérêt pratique dans la plupart des cas.

Un balancement périodique du flux de fréquence égale à m fois celle de l'onde principale produira également des harmoniques $m - 1$ et $m + 1$ en interférence. En effet, chaque fois que dans le mouvement relatif de la spire et du flux ce dernier dépassera sa vitesse moyenne il y aura augmentation momentanée de la force électromotrice induite ; il y aura au contraire diminution de cette force électromotrice chaque fois que le flux aura une vitesse inférieure à sa vitesse moyenne. Ces augmentations et ces diminutions seront d'ailleurs d'autant plus grandes que le taux de la variation moyenne du flux embrassé par la spire sera plus grand à l'instant considéré. En négligeant les termes périodiques d'ordre supérieur la force électromotrice pourra donc encore être représentée par une fonction de la forme :

$$E_0 \sin \omega t \times [1 + \sin(m\omega t - \varphi)]$$

d'où résulte la proposition énoncée [1].

Reprenant notre étude au point où nous l'avons laissée, nous remarquons que le flux de force résulte de la composition dans les différentes parties du circuit magnétique du champ de l'inducteur et du champ de l'induit.

Il est donc naturel, pour simplifier notre analyse, d'examiner d'abord le cas où l'induit n'est parcouru par aucun courant. Le flux est alors uniquement produit par le champ inducteur. Les variations dans sa grandeur ou dans la distribution des lignes de force ne pourront donc résulter (la force magnétomotrice de l'inducteur étant naturellement supposée constante) que des déformations de l'ensemble constitué par l'inducteur et l'induit pendant le mouvement. Il n'y en aura pas dans le cas d'induit lisse supposé parfaitement centré.

(1) Il est à remarquer que souvent les deux modes de déformation du flux résultant que nous venons d'examiner pourront se superposer de telle manière qu'il soit bien difficile de les distinguer. Cette distinction n'a d'ailleurs pas d'intérêt, la fréquence des variations étant ce qu'il importe le plus de connaître.

Dans ce cas, on voit immédiatement que la seule condition pour qu'il n'y ait pas d'harmoniques est que la répartition du flux le long de l'entrefer soit sinusoïdale.

Il n'en est généralement pas ainsi, et l'ordre des harmoniques qui résultent de la répartition défectueuse des lignes de force à la périphérie de l'induit ne peut être déterminé d'une manière générale, car il dépend essentiellement, d'une part des formes des pièces polaires qui peuvent être très variées, et d'autre part de la forme de la courbe d'hystérésis qui est susceptible d'affecter notablement celle de la courbe de la force électromotrice. Donc une première cause d'harmoniques est la répartition non sinusoïdale du flux le long de l'entrefer.

Cette cause subsiste lorsque l'induit est denté ; mais, dans ce cas, il y a en outre production d'harmoniques d'une autre nature provenant de la denture elle-même. Lorsqu'une encoche arrive devant un pôle, il y a augmentation de la réluctance moyenne du circuit magnétique et, inversement, lorsqu'une encoche quitte un pôle, il y a diminution de cette réluctance. Le flux oscille par suite de part et d'autre d'une valeur moyenne et si on désigne par n le nombre d'encoches correspondant à un intervalle polaire simple, la fréquence des oscillations de la grandeur du flux est égale à $2n$ fois celle de l'onde principale. On aura donc certainement à constater la production d'harmoniques d'ordre $2n - 1$ et $2n + 1$ en interférence (1).

L'expérience est à ce sujet très concluante (2).

(1) La loi qui régit l'ordre des harmoniques produits par la denture de l'induit m'a été signalée par M. Mauduit qui l'avait remarquée en appliquant la méthode de résonance à l'analyse des courbes de l'oscillographe.

(2) Il n'est pas inutile de montrer que la cause des harmoniques produits par la denture que révèlent les courbes de l'oscillographe ne peut être autre que celle que nous avons signalée, c'est-à-dire la variation périodique de la réluctance occasionnée par l'entrée et la sortie des encoches sous l'épanouissement polaire. Supposons pour simplifier la machine bipolaire. S'il n'y avait pas de denture et si la répartition du champ le long de l'entrefer était sinusoïdale, la réluctance de l'entrefer pour un tube de force limité par deux plans radiaux faisant entre eux un angle $d\alpha$ serait de la forme :

$$R_1 = \frac{A_1}{\sin\alpha\, d\alpha}.$$

La réluctance supplémentaire occasionnée par la denture peut également être mise sous la forme simplifiée :

$$R_2 = \frac{A_2}{\sin 2n\,(\alpha - \varphi)\, d\alpha}$$

pour le même tube de force, l'induit étant supposé immobile.

La réluctance totale du tube de force considéré est donc de la forme :

$$R = R_1 + R_2 = \frac{1}{d\alpha}\left(\frac{A_1}{\sin\alpha} + \frac{A_2}{\sin 2n\,(\alpha - \varphi)}\right). \qquad (1)$$

Faisons maintenant tourner l'induit à une vitesse angulaire ω. La valeur de la réluctance élémentaire en un point fixe de l'entrefer s'obtient en faisant $\varphi = \omega t$ dans l'expression (1).

C'est une fonction périodique de pulsation $2n\omega$.

Considérons au contraire un point accompagnant l'induit dans son mouvement. Nous obtiendrons la valeur de la réluctance en ce point en faisant :

$$\varphi = \omega t$$

et

$$\alpha = \omega t - \psi$$

dans l'expression (1).

Nous obtenons ainsi une fonction périodique de pulsation ω.

Il s'ensuit que le flux *coupé* par une génératrice de l'induit est une fonction périodique du temps de pulsation ω, qui pourra être affectée d'harmoniques d'ordre quelconque, mais non pas nécessairement des harmoniques $2n - 1$ et $2n + 1$. Comme d'après l'expérience ceux-ci existent nécessairement dans la courbe de la force électromotrice, il faut qu'ils soient produits par une variation périodique du flux total de pulsation $2n\omega$ et il est bien évident que cette variation ne peut que résulter d'une variation de même période de la réluctance totale.

Il est bien évident que ces harmoniques doivent avoir une amplitude d'autant plus grande que la denture est plus accusée, que les dents sont plus nombreuses et que l'entrefer est plus faible. Ils sont très nets sur les courbes de tension des commutatrices, ainsi qu'on peut facilement le constater sur les différents clichés d'oscillographe qui ont été publiés. Il faut également remarquer que les variations du flux dues à la denture peuvent être notablement amorties par les courants de Foucault dans les pièces massives de l'inducteur.

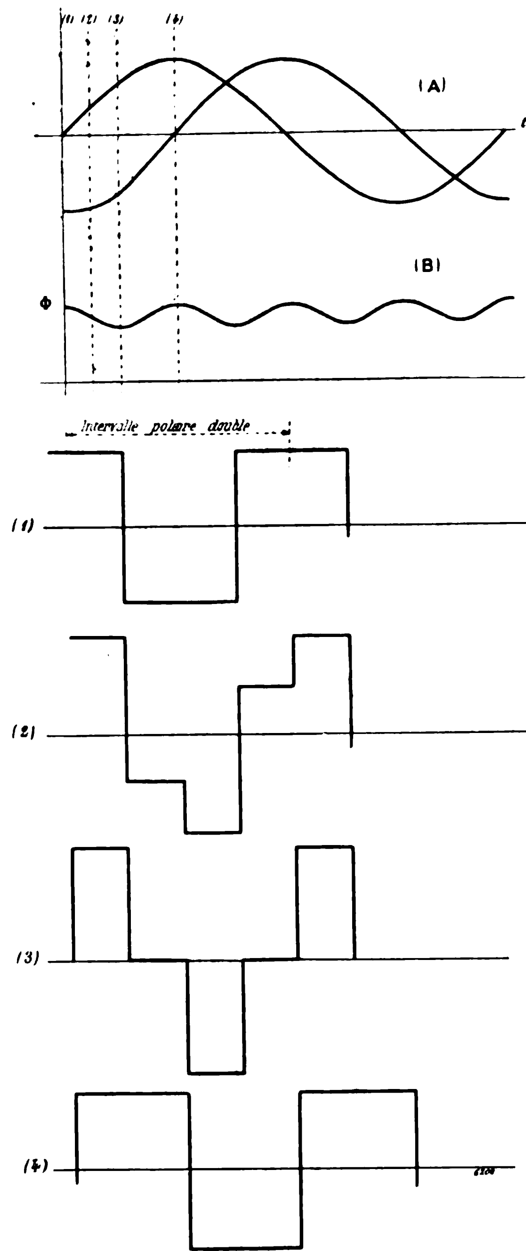


Fig. 1.

Comme applications, on voit, entre autres exemples, que la courbe de tension d'un alternateur triphasé ayant une encoche par pôle et par phase est affectée des harmoniques 5 et 7; on a de même respectivement les harmoniques 11 et 13 d'une part, 17 et 19 d'autre part dans l'alternateur triphasé ayant deux et trois encoches par pôle et par phase.

Lorsque l'alternateur est en charge, il se produit des harmoniques qui n'existent pas nécessairement dans la courbe de l'alternateur à vide et dont l'ordre peut être prévu :

Dans le cas de l'alternateur monophasé, l'induit produit un flux alternatif qui suit son mouvement. On sait que ce flux peut être considéré, quant à ses effets, comme équivalent à deux flux de sens constant dont l'un serait fixe par rapport à l'inducteur, l'autre tournant par rapport au premier avec une vitesse égale à la vitesse relative de l'inducteur et de l'induit.

Le flux fixe par rapport à l'inducteur peut donner lieu par lui-même à des harmoniques par suite de la déformation qu'il fait subir au flux de l'inducteur [1]. Le flux tournant produit alternativement une diminution et un renforcement du flux résultant de la composition des flux fixes, la période de cette variation étant la moitié de la période de l'onde principale. Il y aura donc production de l'harmonique 3.

Dans le cas de l'alternateur polyphasé, le flux de l'induit est fixe par rapport à l'inducteur. Mais en raison de la répartition pratiquement adoptée des conducteurs de l'induit, ce flux fixe est affecté de déformations périodiques accompagnées de variations en grandeur.

[1] La déformation provient de ce que le flux de l'induit n'a pas une répartition sinusoïdale, et en outre, dans le cas le plus général des machines à pôles saillants, de ce que les différents tubes de force élémentaires n'ont pas tous la même réluctance à égalité de section.

Examinons par exemple le cas de l'alternateur diphasé ayant une encoche par pôle et par phase et supposons que le courant soit sinusoïdal. La répartition du champ de l'induit le long de l'entrefer pourra être grossièrement représentée par les tracés de la figure 1 correspondant à différents instants (1), (2), (3), (4), repérés sur la courbe (A). En suivant la déformation du flux, on voit que la grandeur de celui-ci sera représentée en fonction du temps par une courbe telle que (B). Le flux est donc affecté de variations dont la période est le quart de celle de l'onde principale. On devra par suite constater dans la courbe de tension la présence des harmoniques 3 et 5 en interférence. On verrait de même que l'alternateur triphasé doit donner lieu en charge aux harmoniques 5 et 7 [1].

Le résultat est le même avec un nombre d'encoches par pôle et par phase supérieur à 1, mais l'amplitude des harmoniques diminue lorsqu'on augmente l'étalement des conducteurs d'une même phase à la périphérie de l'induit.

Il reste à examiner dans quel rapport d'amplitude les harmoniques de la tension aux bornes de la machine se trouvent avec ceux que l'on pourrait relever sur une spire unique. Mais auparavant il y a lieu de remarquer qu'en général, on n'aura pas à constater la présence d'harmoniques d'ordre pair, à moins que les différents secteurs que l'on pourrait découper sur la machine en divisant sa périphérie en arcs égaux correspondant à un intervalle polaire simple ne soient pas superposables. Cette dissymétrie particulière se présente par exemple lorsque le nombre d'encoches par intervalle polaire double est impair. Ce cas est exceptionnel.

Il est bien évident qu'en raison de leur origine, les harmoniques provenant de variations de grandeur du flux résultant conservent une même amplitude relative dans la courbe de la tension aux bornes de la machine que dans celle de la tension induite dans une spire. Il n'en est pas de même pour ceux qui proviennent d'une distribution non sinusoïdale du champ à la périphérie de l'induit. La valeur relative de ces derniers peut se trouver accrue, réduite ou même annulée dans certains cas, suivant leur ordre et le mode de répartition des conducteurs.

Supposons, pour simplifier, la machine bipolaire. La force électromotrice induite dans une bobine élémentaire est de la forme :

$$e = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + \ldots\ldots A_n \sin(n\omega t - \varphi_n) + \ldots\ldots$$

La force électromotrice dans une bobine voisine, faisant avec la première l'angle α, sera :

$$e' = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1 - \alpha) + \ldots\ldots A^n \sin(n\omega t - \varphi_n - n\alpha) + \ldots\ldots$$

S'il y a k bobines semblables en série faisant entre elles l'angle α, la valeur principale de la force électromotrice aux bornes de l'enroulement sera :

$$A_1 \left[\sin(\omega t - \varphi_1) + \sin(\omega t - \varphi_1 - \alpha) + \ldots\ldots \sin(\omega t - \varphi_1 - (k-1)\alpha) \right] = A_1 \frac{\sin \frac{k\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \sin\left(\omega t - \varphi_1 - (k-1)\frac{\alpha}{2}\right)$$

L'harmonique d'ordre n aura pour amplitude :

$$A_n \left[\sin(n\omega t - \varphi_n) + \ldots\ldots + \sin(n\omega t - \varphi_n - (k-1)n\alpha) \right] = A_n \frac{\sin \frac{kn\alpha}{2}}{\sin \frac{n\alpha}{2}} \sin\left(n\omega t - \varphi_n - n(k-1)\frac{\alpha}{2}\right)$$

[1] La variation périodique du flux due au courant de l'induit a été depuis longtemps signalée par M. Blondel ; les courbes du courant d'excitation d'un alternateur en charge relevées à l'oscillographe la mettent très nettement en évidence. L'harmonique 3 a été également souvent signalé sur les alternateurs monophasés.

Suivant que le rapport :

$$\mu_n = \frac{A_n \dfrac{\sin k \dfrac{n\alpha}{2}}{\sin \dfrac{k\alpha}{2}}}{A_1 \dfrac{\sin \dfrac{k\alpha}{2}}{\sin \dfrac{\alpha}{2}}}$$

sera supérieur, égal ou inférieur au rapport :

$$\lambda_n = \frac{A_n}{A_1},$$

l'amplitude relative de l'harmonique d'ordre n sera accrue, maintenue ou réduite par l'étalement des conducteurs. La discussion complète des différents cas à considérer serait très longue et sans grand intérêt. Nous nous bornerons à rechercher la condition pour que l'harmonique d'ordre n soit annulé. Il faut, pour cela, que $\frac{kn\alpha}{2}$ soit nul, $\sin \frac{n\alpha}{2}$ étant différent de zéro.

$k\alpha$ représentant l'angle occupé par l'enroulement est très généralement une fraction de la circonférence.

Examinons d'abord le cas où $k\alpha = \pi$.

n étant très généralement impair, il n'y aura pas d'harmoniques annulés dans ce cas, qui est celui, par exemple, des alternateurs à induit mobile dans lequel les deux bagues d'une phase sont reliées à des points de l'enroulement distants entre eux d'un intervalle polaire simple. D'une manière plus générale, si l'angle occupé par l'enroulement est contenu un nombre exact de fois dans celui qui correspond à un intervalle polaire simple, ainsi que cela se présente dans la plupart des alternateurs polyphasés à induit fixe, il n'y a pas d'harmoniques annulés.

Si, au contraire, l'angle occupé par l'enroulement n'est pas contenu un nombre exact de fois dans l'angle correspondant à un intervalle polaire simple, il peut y avoir des harmoniques annulés. Examinons, par exemple, le cas de l'alternateur triphasé à induit mobile ou la commutatrice ayant trois bagues reliées à des points de l'enroulement distants d'un tiers d'intervalle polaire double.

On a :

$$k\alpha = \frac{2\pi}{3}$$

$$n\frac{k\alpha}{2} = \frac{n\pi}{3}$$

$$\frac{n\alpha}{2} = \frac{n\pi}{3k}$$

Les harmoniques pour lesquels n sera multiple de 3 et non multiple de $3k$ seront annulés.

Ainsi, pour prendre un exemple, l'harmonique 3 ne subsistera que si le nombre d'encoches par paire de pôles et par phase est égal à 3.

De ce qui précède, on peut déduire les diverses conditions à remplir pour construire une machine donnant une courbe de tension sans harmoniques appréciables.

Il faut, en premier lieu, obtenir une répartition sinusoïdale du champ inducteur le long de l'entrefer. On arrivera à ce résultat, au moins approximativement, en donnant à

l'entrefer une longueur variable aux différents points de la surface polaire (¹). Le procédé pratique ordinairement employé consiste à chanfreiner les bords des pièces polaires. Peut-être conviendrait-il, pour se rapprocher davantage de la distribution sinusoïdale, d'adopter une forme un peu plus compliquée comportant deux chanfreins successifs d'inclinaison différente. En toute rigueur, il faudrait, pour tenir compte de l'hystérésis, faire l'entrefer dissymétrique par rapport à l'axe d'un pôle. Ce mode de construction, appliqué à certaines dynamos à courant continu, dans le but de s'opposer aux étincelles, a l'inconvénient de n'être efficace que pour un seul sens de rotation. Un autre procédé, tendant au même but, et qui se présente assez naturellement à l'esprit, consiste à répartir les ampèretours inducteurs autour de l'axe des pôles suivant la loi sinusoïdale. L'inducteur peut être alors constitué par un anneau sans pôles saillants, les enroulements étant logés dans des encoches. Mais, pour ne pas exagérer les fuites magnétiques, on est amené à rapprocher le plus possible les enroulements de l'entrefer : il en résulte des variations brusques du champ à chaque encoche garnie de conducteurs, de telle sorte que ce procédé théoriquement parfait donnerait lieu pratiquement à des harmoniques d'ordre élevé.

On annulera les harmoniques dus à la denture en supprimant leur cause même, c'est-à dire la variation de la réluctance au passage des dents sous les cornes polaires (²).

On y arrivera en inclinant les encoches par rapport à l'axe des pièces polaires, de telle manière que l'une des extrémités d'une encoche se trouve en regard de l'autre extrémité de l'encoche voisine (fig. 2). Un procédé équivalent consistera à incliner les généra-

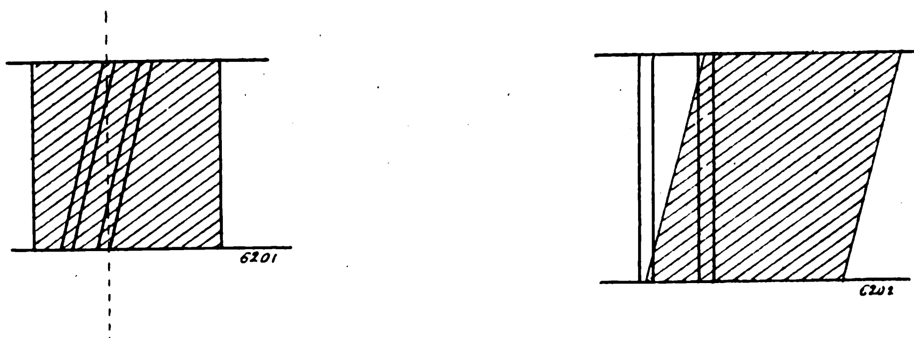


Fig. 2 et 3.

trices de la surface polaire, de manière que les extrémités de l'une d'elles se trouvent en regard des extrémités correspondantes de deux encoches voisines (fig. 3).

Par ce moyen, nous supprimons du même coup les harmoniques $2n+1$ et $2n-1$ et tous ceux qui en dérivent (³).

Pour supprimer les harmoniques dus au courant de l'induit, il faudrait constituer l'enrou-

(¹) M. Maurice Leblanc dans son étude sur la transmission et la distribution de l'énergie par les courants alternatifs a indiqué comment on pourrait déterminer par le calcul la forme à donner à la surface polaire pour obtenir la répartition sinusoïdale. Ce calcul ne donne bien entendu qu'une approximation. Il conduit d'ailleurs naturellement à une surface courbe qu'il serait bien difficile de réaliser pratiquement.

(²) Dans le cas d'inducteurs sans pôles saillants il ne semble pas que la denture puisse occasionner d'harmoniques.

(³) Ceci semble en désaccord avec les conclusions d'un article de M. Guilbert (*L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 377, 14 juin 1902). Mais ce dernier avait supposé implicitement que le flux était constant. L'unique cause des harmoniques est alors la répartition non sinusoïdale du champ résultant et on ne peut en supprimer qu'un seul par l'inclinaison des encoches par rapport à l'axe de la machine.

lement de manière à répartir, suivant la loi sinusoïdale, les conducteurs d'un même circuit à la périphérie de l'induit. Ceci ne peut être pratiquement réalisé d'une façon parfaite; on peut, comme M. Maurice Leblanc l'a indiqué, disposer les conducteurs en nombre égal dans des encoches inégalement réparties, ou bien encore placer un nombre variable de conducteurs dans des encoches équidistantes. On n'obtiendrait ainsi qu'une solution approchée au prix d'une construction gênante [1]. Peut-être convient-il de s'en tenir à la répartition dans deux ou, de préférence, trois encoches égales et équidistantes par pôle des conducteurs d'un même circuit, en donnant, en outre, à l'entrefer une longueur suffisante pour réduire l'importance relative du champ de l'induit.

Commutatrices. — Une commutatrice à vide n'étant pas autre chose qu'un moteur synchrone donnera lieu aux mêmes harmoniques qu'un tel moteur; lorsque la commutatrice est en charge, son induit est parcouru par des courants qui peuvent être considérés comme la superposition du courant continu sortant par les balais du collecteur et des courants alternatifs venant aux bagues. On devra donc constater la présence des mêmes harmoniques que dans un moteur synchrone en charge.

Mais on peut, en outre, se demander si des harmoniques de nature particulière ne pourront pas naître d'un mauvais calage des balais frottant sur le collecteur à courant continu. Le flux produit par l'induit d'une dynamo à courant continu en charge peut être, en effet, considéré comme résultant de la composition des champs magnétiques produits par chaque portion de l'induit; on peut donc envisager séparément les champs produits, d'une part, par l'ensemble des bobines non en commutation et, d'autre part, par les bobines en court-circuit.

Si le courant est parfaitement continu le premier de ces champs est constant et se déplace avec l'induit; le second varie pendant toute la durée du court-circuit et, en même temps, se déplace. Pour que le champ résultant reste fixe et constant, il faudra que le champ des bobines en commutation varie suivant une loi déterminée [2].

La condition sera d'autant mieux remplie que la commutation sera plus parfaite.

Dans le cas d'une commutation imparfaite, il y aura soit balancement, soit variation, soit les deux phénomènes ensemble du flux de l'induit et, par suite du flux résultant, d'où suivront des variations périodiques de la force électromotrice.

La fréquence des variations sera aussi grande que celle des passages des lames de col-

---

[1] Il faut d'ailleurs remarquer que cette construction ne donnerait un résultat complètement satisfaisant qu'avec des inducteurs sans pôles saillants.

[2] Supposons la machine bipolaire (fig. 4). Soit Ox le champ dû aux bobines non en commutation. Ce champ oscille autour de la ligne des balais Oz en s'en écartant de part et d'autre d'un angle égal à celui sous-tendu par le balai. Pour que le champ total de l'induit ait une direction fixe coïncidant avec la ligne des balais, il faut que le champ des bobines en commutation soit $xA = Ox \operatorname{tg} \alpha$. Si α est très petit, on peut écrire :

$$xA = Ox \times \alpha.$$

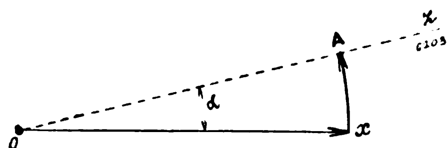


Fig. 4.

Supposons que la résistance de contact soit grande par rapport aux autres résistances du court-circuit et qu'il n'y ait aucune force électromotrice induite dans les bobines en court-circuit, c'est-à-dire en un mot que la commutation soit théoriquement parfaite. Dans ces conditions le courant dans les sections aboutissant à des lames complètement engagées sous le balai sera nul et le courant dans les sections aboutissant à des lames dont l'une au moins est incomplètement engagée sous le balai variera proportionnellement à l'angle de rotation. Il est facile de voir qu'ainsi le champ des bobines en commutation suivra la loi ci-dessus.

lecteur sous un balai. On devra donc trouver des harmoniques d'ordre $2l+1$, en appelant l le nombre de lames du collecteur par intervalle polaire simple.

On pourrait faire une remarque analogue sur les machines dans lesquelles on fait commuter des courants alternatifs [1].

Redresseurs. — En principe, un redresseur peut être considéré comme un transformateur dont on fait commuter les bobines secondaires suivant une loi déterminée. Il y aura donc autant de variations du flux traversant le circuit magnétique du transformateur que de passages de lames du collecteur sous les balais. La grandeur de ces variations sera d'ailleurs proportionnée à la valeur instantanée qu'a le flux au moment où elles se produisent. On arrive ainsi à conclure que si $2l$ désigne le nombre de lames qui passent sous les balais pendant une période de l'onde principale, il y aura production des harmoniques d'ordre $2l+1$, ainsi que l'a signalé M. Maurice Leblanc.

Moteur asynchrone. — Le moteur asynchrone, avec le mode de construction universellement adopté ne semble pas devoir créer d'harmoniques sensibles. Il n'a pas, en effet, de pôles saillants et, de plus, le rotor en court-circuit joue le rôle d'amortisseur pour les variations du flux pouvant provenir soit de la denture, soit de la répartition défectueuse des conducteurs du stator. En somme, un moteur asynchrone peut être considéré, au point de vue des harmoniques, comme un simple transformateur.

En résumé, on voit qu'il est assez facile de prévoir l'ordre des harmoniques auxquels peuvent donner lieu les différentes machines à courants alternatifs, lorsqu'on connaît leurs données de construction. La prédétermination de l'amplitude de ces harmoniques, ou, ce qui revient au même, l'établissement préalable de la courbe exacte de la force électromotrice offre, au contraire, des difficultés considérables.

Cette prédétermination n'a d'ailleurs pas beaucoup d'intérêt, puisque le constructeur dispose de procédés excellents d'analyse expérimentale. Parfaitement renseigné sur l'ordre et l'amplitude des harmoniques de la courbe d'une machine existante, il pourra, à l'aide de déductions de même nature que celles que nous venons d'exposer mais opérant en ordre inverse, remonter aux causes et modifier ensuite sa construction, de manière à arriver à une forme type donnant satisfaction.

F. Guery.

---

(1) Nous pouvons appliquer au cas d'un anneau à collecteur recevant des courants polyphasés par un certain nombre de balais un raisonnement analogue à celui que nous avons employé dans une note précédente pour les dynamos à courant continu.

Si l'anneau est fixe par rapport aux balais, les champs produits par les différentes portions du circuit se composent de manière à former un champ tournant à la vitesse angulaire ω égale à la pulsation des courants fournis (en supposant l'anneau bipolaire).

Si l'anneau tourne avec une vitesse angulaire Ω, pendant tout le temps que les mêmes sections restent en circuit, le champ produit par ces sections (c'est-à-dire abstraction faite de la composante due au champ des bobines en commutation) est entraîné avec les conducteurs et si ceux-ci se déplacent dans le sens du champ tournant, la vitesse du champ devient $\omega+\Omega$; mais dès qu'une section primitivement en court-circuit rentre en circuit ou qu'inversement une section en circuit est mise en court-circuit, le champ revient brusquement en arrière. Sa vitesse moyenne, ainsi qu'il est facile de le voir, est encore égale à ω ; mais il effectue une série d'oscillations. Les forces électromotrices induites dans les conducteurs seront donc celles qui résulteront du déplacement du champ par rapport à ces conducteurs avec la vitesse angulaire $\omega-\Omega$, mais affectées d'harmoniques résultant du balancement du champ produit par la commutation.

Nous avons négligé le champ des bobines en commutation. Son effet est, comme dans le cas du courant continu, de réduire les oscillations du champ résultant à la condition que la commutation soit bonne. Le court-circuit joue d'ailleurs par lui-même le rôle d'amortisseur. Toutefois un collecteur à courants alternatifs étant nécessairement très en dehors des conditions théoriques d'une commutation parfaite, il est à prévoir que les harmoniques en question pourront prendre une amplitude assez considérable dans ce genre de machines.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Influence de la nature de la surface et de la rotation sur l'échauffement des machines électriques, par **Wilhelm Schüppel.** *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XXI, p. 77, 8 février 1903.

I. — Parmi les causes susceptibles de favoriser le refroidissement des machines électriques, il est intéressant de rechercher l'influence du métal qui constitue la surface extérieure de l'appareil et plus encore l'influence de la couche de peinture. A cet effet, l'auteur emploie un ressort d'acier, analogue aux ressorts de montre, de 1,5 m de longueur, 2 mm de largeur, et 0,152 mm d'épaisseur ; il le divise en un certain nombre de parties égales qui reçoivent chacune une couche de peinture différente et fait passer un courant électrique de 1/10 ampère environ par le ressort tendu entre deux bornes de laiton. L'excès de température de chaque section sur le milieu ambiant est mesuré par son accroissement de résistance ; pour cela, on soude à ses extrémités des fils de rhéotan qui sont reliés à un appareil de mesure. Ici le dispositif est celui bien connu du galvanomètre Desprez-d'Arsonval combiné pour donner la différence de potentiel entre deux points.

Un essai préliminaire, dans l'air au repos, a porté sur six couleurs : outre-mer, terre de Sienne, jaune de chrome, vert de chrome, céruse et vermillon. Deux autres portions ont reçu, l'une du noir de fumée et l'autre une espèce de peinture grise, connue sous le nom de laque de Heising spécialement appliquée aux bacs d'accumulateurs. Enfin une portion est restée nature. On n'a pas constaté de différences bien sensibles dans le pouvoir émissif de ces diverses couleurs ; aussi les essais suivants n'ont-ils porté que sur la céruse, le vermillon, l'outre-mer, le noir de fumée et le métal nu.

Les couleurs étaient délayées dans de l'huile de lin, et étendues régulièrement avec un pinceau choisi. Pour faciliter l'adhérence du noir de fumée au métal, on l'agitait avec de l'alcool absolu, puis on ajoutait à la mixture quelques gouttes d'une dissolution alcoolique de gomme laque.

Tout d'abord l'auteur a remarqué que le métal nu s'échauffait le plus ; ainsi quand sa tem-

VITESSE en mètres par seconde.	1 MÉTAL NU		2 VERMILLON		3 OUTRE-MER		4 CÉRUSE		5 NOIR DE FUMÉE	
	ui	T	*ui*	T	*ui*	T	*ui*	T	*ui*	T
0	0,220	20,9	0,226	14,8	0,227	14,5	0,225	14,0	0,230	13,6
	0,350	28,6	0,357	21,7	0,350	20,6	0,350	19,9	0,360	19,4
	0,590	41,0	0,587	32,4	0,600	32,4	0,593	31,1	0,615	31,0
	0,791	50,2	0,775	40,2	0,765	39,4	0,760	38,2	0,775	37,7
	1,120	65,0	1,100	53,6	1,070	51,8	1,068	51,1	1,080	49,7
	1,550	83,1	1,478	68,7	1,450	67,1	1,435	65,5	1,450	63,5
0,7	0,227	8,0	0,211	5,7	0,213	5,2	0,211	5,2	0,211	4,6
	0,410	11,1	0,402	8,8	0,405	8,3	0,406	,0	0,404	7,4
	0,690	15,4	0,698	12,9	0,700	12,5	0,705	12,0	0,701	11,1
	0,970	19,4	0,967	16,6	0,980	16,0	1,985	15,3	0,965	14,0
	1,577	27,1	1,572	23,7	1,585	23,1	1,590	21,9	1,570	20,2
2,2	0,215	3,7	0,214	3,5	0,213	3,4	0,213	3,4	0,210	2,2
	0,408	5,8	0,405	5,5	0,405	4,3	0,403	4,3	0,399	3,7
	0,710	9,1	0,705	7,7	0,706	7,4	0,698	6,8	0,689	6,1
	0,990	11,5	0,980	10,0	0,987	9,7	0,974	8,8	0,962	8,0
	1,594	16,1	1,600	14,3	1,620	13,9	1,580	12,5	1,570	11,4

pérature surpassait de 100° celle du milieu ambiant, les autres portions peintes accusaient à peine un excès de 82° ; les différences dues aux variations des couleurs elles-mêmes n'atteignaient pas 2 p. 100.

Pour se placer dans des conditions plus voisines de la réalité, il fallait soumettre le ressort à l'action d'un courant d'air artificiel. Celui-ci était produit par un petit ventilateur à 12 ailettes, de 39 cm de diamètre, enfermé dans un cône de carton et commandé par un moteur électrique à vitesse variable. La vitesse du déplacement de l'air était donné par un anémomètre. Après quelques tâtonnements, l'auteur reconnut qu'il convenait de placer le ressort à l'intérieur du cône, à 15 mm du bord extérieur. Le tableau ci-dessus (p. 60) résume une série d'expériences. La colonne *ui* représente la dépense en watts dans chaque section ; la colonne T donne l'excès de température sur l'ambiante.

Avec les données de ce tableau, l'auteur a construit 3 séries de cinq courbes en portant en abscisses les valeurs de *u i* et en ordonnées les valeurs de T. On peut alors comparer les excès de température des diverses couleurs correspondant à une même dépense d'énergie ; supposons celle-ci égale à 1, 5 watt, on en déduit alors pour T les valeurs ci-dessous où la 2e colonne répète les résultats de la première, mais rapportés à T = 100° pour le métal naturel.

VITESSE DE L'AIR EN MÈTRES PAR SECONDE	0		0,7		2,2	
1. Métal nu	81°,1	100°,0	26°,2	100°,0	15°,5	100°,0
2. Vermillon	69°,4	85°,5	22°,9	87°,5	13°,7	88°,4
3. Outre-mer	68°,8	84°,8	22°,2	84°,7	13°,1	84°,5
4. Blanc de Céruse	67°,8	83°,6	21°,0	80°,2	12°,0	77°,5
5. Noir de fumée	65°,2	80°,4	19°,5	74°,5	10°,9	70°,4

Remarquons la curieuse anomalie présentée par le vermillon qui produit un refroidissement moindre quand il est exposé à un courant d'air que lorsqu'il reste plongé dans l'air au repos. C'est le noir de fumée, comme on devait s'y attendre, qui fournit les meilleurs résultats, environ 30 p. 100 supérieurs à ceux du métal nu quand la vitesse de l'air est de 2,2 m par seconde.

En résumé, les pouvoirs émissifs des diverses couleurs surpassent celui du métal nu de 12 p. 100 dans l'air au repos, et de 14 p. 100 dans un courant d'air artificiel. Il y a donc un léger avantage, pour favoriser le refroidissement, à recouvrir le métal d'une couche de peinture, mais le choix de celle-ci ne joue aucun rôle. Le point le plus important à observer est de ne donner à cette couche qu'une très faible épaisseur, car, si les couleurs ont un pouvoir émissif plus grand, elles sont, par contre, mauvaises conductrices de la chaleur, et cet inconvénient annihile en partie les améliorations qu'elles apportent d'autre part.

II. — L'auteur s'est proposé, dans cette deuxième partie de son travail, de vérifier les formules qui donnent l'échauffement d'une machine électrique en fonction de sa charge et de sa vitesse de rotation. Ces formules sont :

Arnold $$T = \frac{300}{s\,(1 + 0{,}1\,v)}$$

Kapp $$T = \frac{550}{s\,(1 + 0{,}1\,v)}$$

Esson $$T = \frac{354}{s\,(1 + 0{,}0006\,v)}$$

Wilson $$T = \frac{640}{s\,(1 + 0{,}18\,v)},$$

où s représente la surface rayonnante en cm² par watt et v, la vitesse moyenne des fils de l'induit en mètres par seconde. Pour vérifier l'exactitude du coefficient de v, il suffit de chercher une relation entre l'accroissement de température et l'énergie absorbée correspondante à différentes vitesses. Le procédé le plus simple consisterait à envoyer du courant par les balais du moteur et à le faire tourner, en l'entraînant par courroie, jusqu'à ce que l'équilibre de température fût atteint ; la température serait alors déduite de l'accroissement de résistance. Mais s'il est relativement facile de mesurer l'énergie fournie aux bornes du moteur au repos, une difficulté se présente quand il s'agit de tenir compte de l'échauffement dû à

l'hystérésis et aux courants de Foucault provenant de la rotation de l'induit. Cet échauffement participe, dans une proportion plus ou moins grande, à l'augmentation de résistance et résulte du travail mécanique dépensé pour faire tourner le moteur. L'auteur a adopté la méthode suivante qui supprime l'appareil auxiliaire. D'abord le moteur étant au repos, on laisse passer le courant à travers les fils de l'induit jusqu'à ce que les aiguilles du voltmètre et de l'ampèremètre restent immobiles, ce qui indique que l'équilibre de température est atteint. L'énergie fournie est le produit *ui* de l'intensité par la différence de potentiel mesurée aux balais, afin de tenir compte de la perte d'énergie dans les balais et les résistances au contact. Pour avoir la résistance de l'induit, on prend la différence de potentiel aux lames du collecteur et on divise par *i*.

En vertu du magnétisme rémanent, un moteur électrique dont l'induit est traversé par un courant se mettra toujours à tourner, sans qu'il soit nécessaire d'exciter ses inducteurs. En agissant sur le courant et le calage des balais, on réalisera toutes les vitesses dont on aura besoin. L'énergie absorbée s'évalue comme précédemment. Quant à la résistance, il n'est pas possible de l'obtenir par la mesure de la différence de potentiel aux lames du collecteur en rotation, par suite de l'effet perturbateur dû à la force contre-électromotrice. On met donc le moteur au repos et on procède comme dans le premier cas.

Pour ses essais, l'auteur s'est servi de deux types de moteurs. L'un est un moteur en dérivation de Garbe, Lahmeyer et Cie, dont l'induit en tambour a 26 cm de longueur, 16 cm de diamètre, et porte 30 encoches. Chaque encoche est munie de 4 fils. Le système inducteur est constitué par deux noyaux dont les pièces polaires embrassent chacune la moitié de l'armature. La puissance normale est de 3,6 kilowatts (36 ampères et 100 volts) à la vitesse de 1 250 tours : minute. Résistance du fil induit à la température ambiante 0,113 ohm. Le deuxième moteur est encore un moteur en dérivation, avec induit denté et enroulement en tambour, de la Berliner Maschinenbaugesellschaft, ci-devant Schwartzkopff. L'induit a 16 cm de longueur et 15 cm de diamètre ; il tourne entre deux électros dont les arcs polaires ne couvrent que 60 p. 100 de la surface de l'induit. Il y a 41 encoches avec 20 fils par encoche. Les balais sont en charbon. La puissance normale de la machine est de 2,64 kilowatts (12 ampères et 220 volts) à la vitesse de 1 300 tours : minute. Résistance du fil induit à la température ambiante 0,670 ohm.

I. — *Moteur Lahmeyer*

N° DE L'ESSAI	NOMBRE de tours : minute	*u* VOLTS	*i* AMPÈRES	*ui* WATTS	R OHMS	T DEGRÉS CENTIGRADES
1	0	1,84	15,30	27,8	0,1194	14,6
2	0	2,80	22,10	61,6	0,1250	27,1
3	0	3,80	28,80	109,4	0,1308	40,4
4	0	4,40	32,60	144,0	0,1340	47,0
5	0	5,50	39,20	215,0	0,1387	57,5
6	460	5,60	34,40	192,5	0,1322	43,0
7	460	5,50	18,50	101,8	0,1264	30,2
8	570	6,30	24,30	153,0	0,1294	36,8
9	800	8,40	22,40	188,0	0,1295	37,1
10	970	10,10	19,00	192,0	0,1286	35,0
11	1230	11,10	18,80	209,0	0,1281	33,9
12	1230	10,90	11,66	127,0	0,1240	24,9

I. — *Moteur Schwartzkopff*

N° DE L'ESSAI	NOMBRE de tours : minute	*u* VOLTS	*i* AMPÈRES	*ui* WATTS	R OHMS	T DEGRÉS CENTIGRADES
1	0	5,07	6,60	33,4	0,730	22,4
2	0	8,68	10,20	88,5	0,804	50,0
3	0	11,25	12,44	140,0	0,854	68,5
4	0	11,71	12,96	152,0	0,865	72,7
5	0	13,52	14,20	192,1	0,895	84,0
6	580	14,20	5,98	85,0	0,750	29,8
7	580	15,30	9,93	152,0	0,788	44,0
8	720	17,00	8,53	145,0	0,777	39,9
9	880	19,20	11,40	219,0	0,797	47,3
10	1100	22,80	8,55	195,0	0,777	39,9
11	1280	23,60	4,96	117,0	0,742	26,9
12	1280	24,40	9,14	223,0	0,779	40,7

A l'aide de quelques expériences complémentaires, il est facile de construire la courbe de T (ordonnées) en fonction de *ui* (abscisses) pour

une vitesse déterminée. On a choisi les 5 vitesses suivantes pour les 2 moteurs : 0,400,700,1000 et 1 300 tours-minute.

Les formules rappelées plus haut peuvent s'écrire d'une manière générale $T = \frac{C.W}{S(1 + cv)}$; d'où on tire $C = T.\frac{S}{W}(1 + cv)$.

C'est une constante ; W, la valeur de la charge en watts ; c est aussi une constante qui varie, comme on l'a vu d'un auteur à l'autre ; S est la surface extérieure de l'induit en cm² $\left(s = \frac{S}{W}\right)$; elle est de 1 720 cm² pour le moteur Lahmeyer et 1 400 cm² pour le moteur Schwartzkopff. Les rayons moyens sont respectivement 14 et 13,2 cm ; de sorte que la vitesse v s'exprime en mètres par les deux relations $v = 0{,}00735\,n$ et $v = 0{,}0069\,n$, où n représente le nombre de tours : minute. Pour vérifier les formules de Kapp et Arnold, on prend $c = 0{,}1$; on doit trouver pour C une valeur constante.

I. = *Moteur Lahmeyer.*

$S = 1\,720$ cm², $r = 14$ cm, $v = 0{,}00735\,n$.

Numéros des essais	n	$1 + 0{,}1\,v$	90 w.		120 w.		150 w.		180 w.		210 w.	
			T	C	T	C	T	C	T	C	T	C
1	0	1,000	35,5	678	42,1	604	47,4	544	52,0	497	56,4	461
2	400	1,294	29,0	716	34,2	635	38,8	575	42,5	525	46,3	489
3	700	1,515	25,1	726	30,0	652	34,0	591	37,6	545	41,0	509
4	1 000	1,735	21,9	725	26,1	648	30,0	596	33,4	553	36,5	517
5	1 300	1,955	18,9	705	22,8	639	26,1	585	29,4	548	32,2	515
		$C_m =$		718		644		587		543		507

II. — *Moteur Schwartzkopff.*

$S = 1\,400$ cm², $r = 13{,}92$ cm, $v = 0{,}0069\,n$.

Numéros des essais	n	$1 + 0{,}1\,v$	90 w.		120 w.		150 w.		180 w.		210 w.	
			T	C	T	C	T	C	T	C	T	C
1	0	1,000	50,2	785	62,0	723	72,0	672	78,0	606	89,0	594
2	400	1,276	34,9	691	42,2	627	49,2	585	53,5	531	61,6	524
3	700	1,483	28,3	653	35,0	606	40,5	561	44,0	497	50,3	498
4	1 000	1,690	24,0	632	29,5	582	34,7	547	37,9	499	43,6	492
5	1 300	1,897	21,5	634	26,4	584	31,0	548	34,0	501	39,0	493
		$C_m =$		652		600		560		507		502

Les moyennes C_m se rapportent à une même charge, abstraction faite des valeurs de C correspondant à l'état de repos ; il est certain, en effet, que l'application à ce cas particulier de formules établies pour la charge normale entraînerait de grandes inexactitudes.

Aux charges élevées, les moyennes C_m concordent très bien entre elles et tendent vers une limite commune pour les deux moteurs ; c'est la formule de Kapp qui donne les valeurs les plus approchées.

En résumé, on voit par les chiffres des deux tableaux que les valeurs de C ne diffèrent de la moyenne C_m que de 3,5 p. 100 pour le moteur

Lahmeyer, et 6 p. 100 pour le moteur Schwartzkopff. Si on prend $v = 0,18$, comme dans la formule de Wilson, les écarts vont jusqu'à 14,5 p. 100. Quant au coefficient de Esson, 0,0006, il est trop faible et ne permet pas de mettre en évidence l'influence de la vitesse de rotation. Dans la pratique, on aura des résultats suffisamment approchés avec les formules de Kapp et Arnold.

L'auteur a profité de ces expériences pour démontrer que la température ne croît pas proportionnellement à la charge, mais suivant une loi qu'il établit en vérifiant que $C_m \times \sqrt[3]{W}$ = constante = D. Il a trouvé D = 3122 pour le moteur Lahmeyer et D = 2942 pour le moteur Schwartzkopff. En portant ces valeurs dans l'expression de la température, on trouve :

$$T = \frac{3122\ W}{S \times \sqrt[3]{W}(1 + 0,1\ v)}$$

$$T = \frac{2942\ W}{S\sqrt[3]{W}(1 + 0,1\ v)},$$

c'est-à-dire que l'accroissement de température serait proportionnel à la puisssance $\frac{2}{3}$ de la charge.

Dans le tableau ci-dessous on a mis en regard les valeurs de T calculées par ces formules et celles relevées directement sur les courbes.

Numéro des essais.	n	90 w.		130 w.		170 w.		210 w.	
		T obs.	T calc.	T obs.	T calc.	T obs.	T calc.	T obs.	T calc.
					LAHMEYER				
1	400	28,2	29,0	36,0	35,9	43,0	41,3	49,6	46,3
2	700	24,0	25,1	30,7	31,3	36,8	36,3	42,4	41,0
3	1 000	21,0	21,9	26,8	27,5	32,1	32,3	37,0	36,5
4	1 300	18,6	18,9	23,8	24,0	28,5	28,4	32,8	32,2
					SCHWARTZKOPFF				
1	400	33,0	34,9	42,3	44,9	50,5	53,5	58,1	61,6
2	700	28,4	28,3	36,2	36,9	43,4	49,0	50,0	50,3
3	1 000	24,9	24,0	31,8	31,2	38,2	38,0	43,8	43,6
4	1 300	22,2	21,5	28,4	28,0	34,0	34,0	39,1	39,0

Aux faibles vitesses, les écarts atteignent au maximum 7 et 6,3 p. 100 ; au-dessous de 400 tours par minute, la différence reste toujours inférieure à 6 p. 100. Ces résultats sont d'une exactitude bien suffisante pour les applications ordinaires.

T. P.

Procédé Paul Chapuy et Cie pour la préparation de pierre ponce artificielle de porosité déterminée, particulièrement destinée à l'accumulateur électrique. Brevet allemand 142 097 du 16 février 1901. *Centralblatt für Accumulatoren-Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 148, 15 juin 1903.

Comme aucun des corps poreux naturels ne possède ni une porosité suffisante et constante, ni une solidité assez grande, ni une résistance suffisante d'attaque aux acides, bases, etc., on est obligé, d'avoir recours aux produits artificiels. Parmi ceux-ci, on emploie des mélanges finement pulvérisés d'argile et de matières combustibles que l'on brûle ensuite. Mais l'argile renferme un mélange de différents silicates doubles alcalins dont le point de fusion relativement peu élevé nécessite l'adoption de cuisson modérée, si on veut éviter que la surface entière de la substance ne se recouvre d'un vernis qui empêche la porosité. D'autre part, une cuisson à trop basse température ne donne qu'un produit très peu solide et ne permet ainsi qu'une porosité limitée. En outre, les matières argileuses ne sont pas pratiquement inattaquables par les différents agents chimiques.

Ces inconvénients sont complètement évités lorsqu'on utilise non pas l'argile, mais le kaolin qui consiste en silicate d'alumine presque chimiquement pur et ne commence à fondre qu'à une température très élevée. De plus, entre le point de ramollissement du kaolin et le point où il devient fluide, il existe une différence de température très grande. Il en résulte que si la température dépasse celle qui correspond au ramollissement il n'y a pas à craindre pour cela de glaçage superficiel pourvu qu'on reste au-dessous de la température où les particules de kaolin entrant en liquéfaction se souderaient entre elles. On peut obtenir ainsi une matière qui possède une solidité suffisante. Cette solidité permet d'atteindre un degré de porosité très élevé non seulement par la présence d'un grand nombre de pores, mais aussi par les dimensions de ceux-ci.

La grandeur de ces pores peut être réglée avec une grande exactitude si les grains de charbon qui doivent être incorporés dans la masse de kaolin sont tamisés deux fois. Enfin la température de ramollissement du kaolin dépasse celle qui rend le silicate d'alumine inattaquable aux agents chimiques.

Il faut éviter avec soin que le charbon employé ne renferme en petite quantité des sels alcalins qui, en contact avec le silicate d'alumine, pourraient jouer le rôle de fondants. En abaissant le point de fusion du kaolin, ces silicates alcalins amèneraient le danger, sinon d'un glaçage superficiel extérieur, du moins d'un glaçage intérieur qui boucherait les ouvertures par lesquelles les pores doivent communiquer entre eux. On obtient de bons résultats en choisissant des charbons de pureté suffisante, en les traitant par des solutions acides et les lavant ensuite soigneusement à l'eau.

Les produits ainsi obtenus se rapprochent de la pierre ponce ; ils en possèdent la haute porosité ainsi que les qualités de résistance mécanique et chimique. Ils ont en outre sur la pierre ponce naturelle l'avantage de posséder des pores beaucoup plus réguliers et qui sont tous en communication entre eux, tandis que dans la pierre ponce naturelle il existe des séparations qui créent des espaces fermés dans lesquels les liquides ne peuvent pas pénétrer.

L. J.

TRANSMISSION ET DISTRIBUTION

Appareils de sécurité pour le courant alternatif à haute tension. *Zeitschrift für Elektrotechnick*, t. XXI, p. 181 à 185 et 199 à 204, 29 mars et 5 avril 1903.

M. l'ingénieur en chef Franz-Probst a fait, le 28 janvier 1903, une très intéressante conférence à la Société électrotechnique de Vienne, et a étudié successivement les fusibles à haute tension, les limiteurs de tension et les appareils automatiques. Au sujet des courts-circuits à haute tension, le conférencier a examiné l'influence de la tension, et, en outre, celle de l'intensité que peut prendre le courant.

Pour cela, il a pris un fusible, pour basse tension, fondant à 1,5 ampère, placé dans un tube de verre, et mis en coupe-circuit sur le secondaire à 2000 volts d'un transformateur de 2,5 kilowatts. Dans ce cas, le fil fond, sans explosion, tandis qu'en employant un transformateur de même tension, mais de 7,5 kilowatts, il y a une forte explosion et le tube vole en éclats.

Dans le cas de fusion par court-circuit dans un réseau à haute tension, les effets sont encore accrus par suite de la capacité de la ligne.

Si l'augmentation d'intensité est lente, même avec un coupe-circuit mal construit, il y a fusion et non explosion ; mais dans le cas de court-circuit, les choses se passent autrement, et il y a danger.

La fusion devrait se produire immédiatement dès que l'intensité du courant a dépassé la limite, et non pas seulement, comme cela se produit en règle générale, quelques secondes après seulement.

Le moment de la fusion, soit au moment du maximum de courant, soit au moment où il est nul, a aussi certainement de l'importance.

Comme fil fusible, on emploie actuellement très peu le plomb, presque toujours des fils ou bandes de métal « Britannia », d'argent ou d'aluminium. Quand l'intensité est grande on met plusieurs fils en parallèle.

Comme le plomb est très résistant, sa section doit être relativement grande, de sorte que les vapeurs provenant de la fusion sont en telle quantité que l'on n'a pu jusqu'à présent les faire disparaître complètement.

Les fils en métal « Britannia » et en argent se

comportent mieux ; en fondant, les fils d'argent donnent peu de vapeurs, et la vapeur des fils en métal « Britannia » est peu conductrice.

Le fils d'argent deviennent souvent rouges même sous une très faible surcharge, ce qui rend leur emploi dangereux dans certains cas.

Les sections des fils varient suivant la nature du métal, la section est la plus forte pour le plomb et minimum pour l'argent. M. Probst le montre dans des essais avec une tension de 5 volts.

L'essai d'un fusible doit porter : 1° sur la manière dont il fonctionne dans le cas d'un court-circuit ; 2° sur le point de fusion pour une intensité déterminée, qui doit être au moins 1 1/2 fois l'intensité normale.

M. Probst examine ensuite les divers systèmes employés :

1° Avec un tube isolé rempli de poudre non conductrice et non fusible.

On est arrivé ainsi à des fusibles pour 3000 volts et 50 ampères ;

2° Rupture dans l'huile (Voigt et Häfner), on obtient ainsi de bons résultats quand l'intensité n'est pas très élevée ;

3° Emploi de deux fils fusibles dont l'un a une résistance élevée : ce système n'a pas été adopté ;

4° On place le fusible dans un tube étroit, ouvert à ses extrémités, les vapeurs sous pression s'échappent. Si ce tube est seulement maintenu par le fil fusible, il tombe lors de la fusion ;

5° Le fil tend des ressorts qui, lorsqu'il est fondu, écartent les extrémités.

La Stanley Manufacturing C° construit divers modèles, parmi lesquels on peut signaler le « Ball-Fuse ». Le fil est placé dans un tube étroit dont les extrémités aboutissent à des cavités. Dans chacune de ces cavités est placée, à côté du fil, une boule de charbon de cornue. Quand la fusion se produit, les gaz s'échappent et les boules, devenues libres, sont appliquées contre les ouvertures du tube, de sorte que l'arc est éteint. Ce fusible peut être employé pour 30000 volts et 50 ampères.

Un fusible pour tension jusqu'à 60000 volts est construit de la manière suivante : Le fil fusible est placé dans un tube fermé rempli de poudre isolante et non fusible, portant à ses extrémités de grands disques en substance isolante. Ce tube est soutenu par le fil fusible lui-même, dont les extrémités sont reliées d'un côté à la borne, et de l'autre côté à l'extrémité d'un bâton en bois creux dans l'intérieur duquel le conducteur passe. Après fusion, non seulement le bâton tombe, mais bien encore le tube à l'intérieur duquel se trouvait le fil.

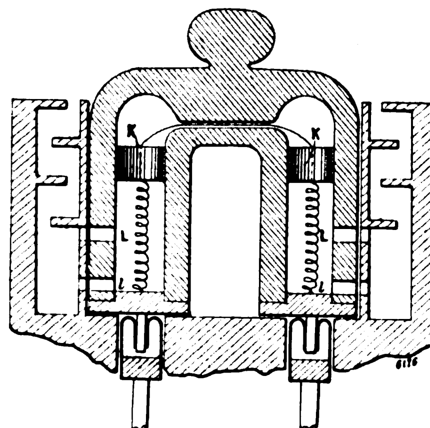


Fig. 1.

La figure 1, donne la coupe d'un autre coupe-circuit de la Stanley C°. Le fil fusible est placé dans un tube étroit en U, et raccordé à chacune de ses extrémités à une sorte de piston K en charbon de cornue. Ces pistons sont reliés au circuit au moyen de câbles flexibles.

Quand le fil fond, les deux pistons K sont repoussés vers le bas et l'air s'échappe par les ouvertures L et L. L'arc est rompu et les vapeurs,

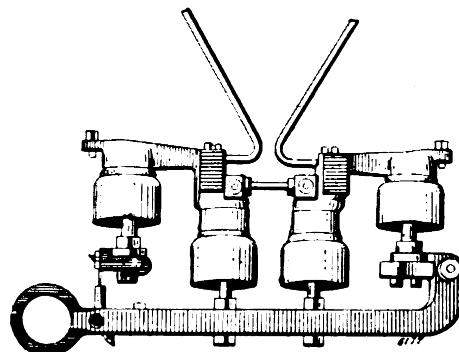


Fig. 2.

sortant ensuite par l'orifice L quand il est découvert, s'échappent lentement dans l'air, par des

ouvertures avec chicanes, de sorte qu'elles se refroidissent.

Les fusibles avec cornes, ou antennes sont également très employés. La figure 2, montre un fusible de Voigt et Häffner. Le fil doit être placé au dessous des cornes, et la distance de ces deux dernières doit être plus faible que la longueur du fil.

Plus l'intensité est grande, plus l'arc est fortement repoussé.

L'action des antennes peut être renforcée, en les plaçant dans une sorte de cheminée, ou en employant de simples parois.

Ces fusibles sont excellents, mais exigent un espace libre d'au moins 1,5 m. au-dessus.

Limiteurs de tension. — Les surélévations de tension peuvent être dues à des décharges statiques, atmosphériques ou autres, à la résonance, à la mise en circuit ou hors circuit de transformateurs, câbles, etc., à des court-circuits et, enfin, dans le cas de câbles concentriques, à la mise à la terre du conducteur intérieur.

Les surélévations dues à des décharges atmosphériques peuvent être assez faibles pour ne pouvoir agir sur les parafoudres, et cependant causer à la longue des dérangements.

Des charges et décharges statiques se manifestent dans tout réseau de câbles à haute tension. Il n'est pas encore tout à fait établi si celles-ci causent des surélévations de tension, et de quelle manière elles agissent.

De telles charges s'accumulent dans les enveloppes protectrices des câbles, dans les bâtis des transformateurs, et même dans les isolateurs en porcelaine, et peuvent se révéler sous forme de longues étincelles bleues quand on place une dérivation dans le voisinage.

L'éclairement d'un tube de Geissler, relié à un des conducteurs du réseau à haute tension, démontre la présence de charges statiques.

Ce dernier phénomène est souvent employé dans la pratique, pour déceler des dérangements, pour déterminer la portion de circuit dépourvue de courant par suite de la fusion d'un fusible, et pour reconnaître le conducteur intérieur dans un système de câbles concentriques, car il n'y a pas d'éclairement avec le conducteur extérieur. Il a été démontré théoriquement et expérimentalement que des surélévations de tension peuvent être dues à la résonance, mais le conférencier est de l'avis du Dr Benischke et de M. Percy-H. Thomas, qui n'attribuent pas une grande importance à ce danger.

La destruction de nombreux câbles est due à des surélévations de tension provenant à la mise en service, ou hors service de transformateurs, moteurs, portions de câbles, ainsi qu'à des courts-circuits.

Le professeur Baum a, dans son ouvrage « Surges in transmission circuits », montré que la surélévation de tension dans le cas d'un court-circuit peut être 200 fois plus élevée que la tension normale.

M. Percy-H. Thomas a démontré dans sa conférence « Static strains on high tensions circuits » que par la mise en circuit ou la mise hors circuits de portions de câbles, la tension peut doubler.

En outre, dans le cas de surélévation de tension, les fusibles ne fondent pas brusquement et fonctionnent avec formation d'arcs, ce qui peut encore donner lieu à des surélévations de tension.

Au commencement, on combattait les effets de la surélévation de tension en renforçant l'isolement des câbles ; ce fut M. l'ingénieur Jacottet qui, en 1892 imagina l'emploi de limiteurs de tension.

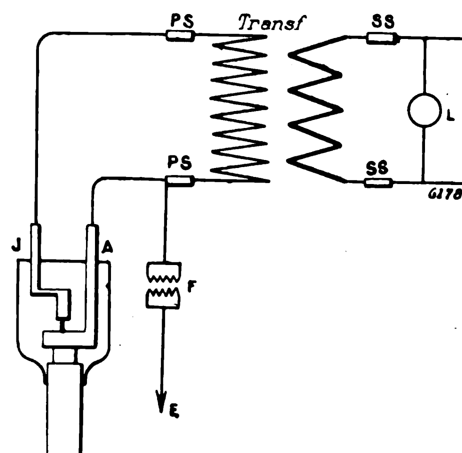


Fig. 3.

Dans les câbles concentriques, où le potentiel du conducteur extérieur est nul, ou bien a une valeur excessivement faible, on peut employer comme limiteur un intervalle d'air F., figure 3

dans laquelle A représente le conducteur extérieur, et S le conducteur intérieur. En outre, on n'emploie pas de coupe-circuit fusibles pour le conducteur extérieur, afin d'éviter que le conducteur intérieur seul soit parcouru par un courant, dans le cas de fusion.

Au commencement, on employait des limitateurs, installés comme le montre le schéma en F, avec un fil fusible intercalé à la suite. Mais non seulement le fusible fondait, mais encore les plaques métalliques étaient reliées par fusion.

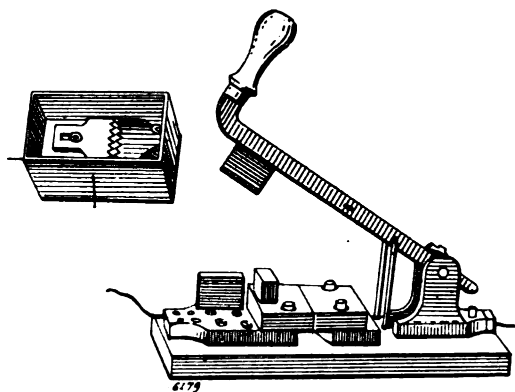


Fig. 4 et 5.

Le D[r] G. Stern, pour éviter cet inconvénient, imagina les dispositifs représentés figures 4 et 5. Dans le premier dispositif, figure 4, une des plaques est en fonte de fer, l'autre en zinc; en outre, il n'y a pas de fusible. Cet appareil fonctionne très bien, et l'intervalle d'air peut être réglé ; lorsque les dents sont fortement usées, on peut en découper de nouvelles dans la plaque de zinc.

La figure 5 montre un appareil à interrupteur automatique ; à la suite des plaques est installé un fil fusible qui, dans l'état normal, maintient le levier d'un interrupteur. Dans le cas d'une forte décharge, le fil fond, et un ressort provoque le déclenchement du levier et la mise en court-circuit des deux plaques, de sorte que le courant de décharge trouve une liaison métallique du conducteur extérieur avec la terre. On ramène ensuite le levier à la main.

Les réseaux à haute tension avec câbles cordés sont protégés par des liaisons à la terre, comprenant un intervalle d'air et une résistance ohmique.

Le D[r] Benischke a imaginé un de ces appareils avec emploi d'antennes ou cornes, et extincteur magnétique d'arc. La Société de construction d'appareils système Bertram, de Francfort, emploie des appareils dans lesquels l'étincelle jaillit dans l'huile.

M. Percy Thomas protège également les câbles au moyen de parafoudres à cornes. Il protège les transformateurs, moteurs et machines, au moyen d'un appareil qu'il désigne sous le nom de « static interrupter ». Cet appareil est représenté schématiquement figure 6, K K re-

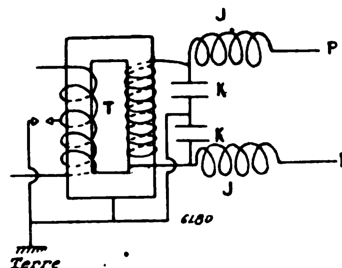


Fig. 6.

présentent des condensateurs et J J des bobines de self-induction.

Indicateur automatique de court-circuit et de surcharge. — On ne peut pas toujours déterminer sûrement l'emplacement d'un court-circuit temporaire ou d'une surcharge temporaire dans un réseau étendu, car tous les ampèremètres se mettent alors à osciller fortement.

Dans le cas d'un court-circuit persistant, tous les ampèremètres, à l'exception de celui qui est sur le câble défectueux, tombent à zéro. Ceci naturellement suppose que les câbles ne sont pas reliés en dehors de la centrale.

Dans le cas de mise à la terre du conducteur intérieur d'un câble concentrique, si les ampèremètres sont montés sur les conducteurs extérieurs, on ne peut non plus reconnaître l'emplacement, car le retour du court-circuit peut se faire d'une manière quelconque par les conducteurs extérieurs.

Le conférencier a imaginé un appareil automatique facile à placer sans toucher au câble et qui peut en même temps indiquer l'intensité du courant.

Le principe en est le suivant : Une bague en fer, portant à la partie supérieure une fente, entoure le conducteur. Au-dessus est disposé un morceau de fer, adapté à l'extrémité d'un levier double. Les lignes de force magnétique tendent à attirer le morceau de fer dans la fente de l'anneau ; en

s'opposant à cette action au moyen d'un contrepoids, on peut faire en sorte que pour une intensité donnée le levier oscille et reste ensuite dans cette position, indiquant ainsi que la limite d'intensité du courant a été dépassée.

Cet appareil a l'avantage de pouvoir être placé sur la canalisation sans qu'on soit obligé de l'interrompre.

Appareil automatique pour la protection des moteurs polyphasés. — Quand dans un moteur polyphasé fonctionnant sous charge, une des phases, par exemple, par suite de la fusion d'un plomb, ne reçoit plus de courant, si le fusible de l'autre phase ne fond pas, le rotor du moteur brûle. Comme les fusibles doivent pouvoir supporter le courant de démarrage, et que l'intensité de celui-ci n'est pas dépassée dans le cas considéré, le second fusible ne fond pas, ceci n'est pas dangereux pour les conducteurs et le stator, mais comme il a été dit, le rotor brûle. Il faut donc que, lorsque l'une des phases est dépourvue de courant, l'autre soit coupée quelle qu'y soit l'intensité du courant.

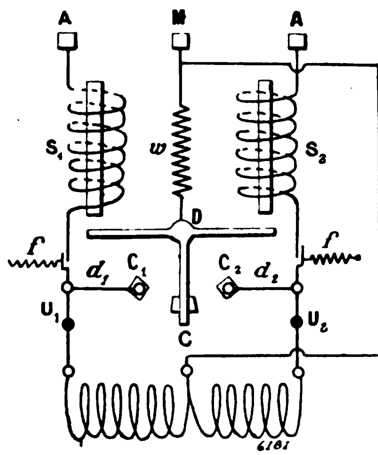


Fig. 7.

La figure 7 donne le schéma d'un appareil de M. Al. Lehotzky, remplissant ce but, pour un moteur diphasé avec conducteur de retour commun aux deux phases.

Le conducteur de retour commun M est relié à travers une résistance w, à un levier double D, pouvant tourner autour de son axe et auquel est reliée la barre C.

Dans chacune des phases A est intercalé un interrupteur U_1, U_2 qu'un fort ressort f (qui peut être remplacé par un poids) tend à ouvrir ; des fils fins en acier d_1 et d_2 s'opposent à cette action.

Deux solénoïdes S_1 et S_2 sont placés soit en dérivation sur les phases, soit comme le montre le schéma en série dans ces dernières. Tant que ces solénoïdes sont parcourues par un courant, un noyau de fer reste suspendu à l'intérieur ; quand, par exemple, le courant est interrompu dans le solénoïde s_1, le noyau tombe sur le levier D, le fait basculer et le bras C vient en contact avec le plot C_2 placé à l'extrémité du fil tendu d_2, il passe un courant par MC_2 d_2 et le fil d_2 fond, de sorte que l'interrupteur U_2 fonctionne et l'autre phase est coupée.

Il faut naturellement que le conducteur commun ne soit pas détérioré ; pour cela, on n'y installe pas de fusible.

Si on a affaire à un moteur diphasé avec phases indépendantes, la barre C est remplacée par deux pièces de contact isolées, reliées chacune à la phase correspondante.

On peut également construire de tels appareils pour courants triphasés ; il y a alors trois solénoïdes. Ces appareils peuvent être combinés avec les interrupteurs de mise en marche du moteur.

F. L.

Sur les dangers auxquels peuvent être exposés les sapeurs-pompiers en dirigeant leur lance sur un conducteur électrique traversé par un courant, par **Friedr. Heinicke**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 478, 18 juin 1903.

Ce travail complète très heureusement des expériences déjà vieilles de six ans du professeur Weber, de Zurich, relatées dans l'*Eclairage Electrique*, t. XV, p. 42 ; ainsi que d'autres expériences entreprises en 1899 par M. Kath, (*Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 601), mais en se plaçant principalement au point de vue des courants alternatifs. Dans les villes où existe un réseau aérien, constitué par des fils nus, pour la distribution de l'énergie électrique, on peut se demander à quels dangers sont exposés les pompiers en cas d'incendie ; car le jet d'eau qui jaillit de leur lance et vient frapper un conducteur sous charge, constitue une excellente dérivation à la terre par la canalisation d'eau et par l'humidité du sol ; les risques ne sont pas moindres pour le personnel chargé du déroulement de la tuyauterie.

Afin d'élucider cette question, l'auteur a entrepris une série d'essais systématiques à la station centrale de Charzow, en haute Silésie. Un jet d'eau s'échappait, sous une pression de 5 atmosphères, d'un ajutage en cuivre, de 12 mm de diamètre et parfaitement isolé ; il était dirigé sur un fil électrique nu. On mesurait la différence de potentiel entre l'ajutage et la terre au moyen d'un voltmètre de précision. L'eau elle-même provenait de la canalisation municipale ; on l'employait pure ou additionnée de 0,5 p. 100 de soude.

Nous admettons, avec les précédents expérimentateurs, que la résistance du corps humain comptée entre les mains et la terre est de 15 000 ohms, quand le sol est humide, et que nous pouvons sans inconvénient supporter un courant de 30 milliampères. Dans ces conditions, quel courant circule entre le conducteur électrique et la terre dans le circuit formé par la veine liquide, la lance, le tuyau et l'opérateur, en remarquant que ces deux derniers sont en parallèle ?

Soit E le voltage de la distribution ; e_1, la différence de potentiel entre l'ajutage et la terre ; i_1 le courant qui traverse l'appareil de mesure. On relie d'abord l'ajutage à la terre par le tuyau seul auquel l'auteur donne une résistance constante de 5 000 ohms ; on relève alors au voltmètre $e_1 = 122$ volts et $i_1 = 0{,}0481$ ampère pour $E = 240$ volts ; le courant dans le tuyau est alors $i_2 = \frac{e_1}{5\,000} = \frac{122}{5\,000} = 0{,}0244$. L'intensité i_3 dans la veine liquide est la somme des deux premières : $i_3 = i_1 + i_2 = 0{,}0725$; on en déduit pour sa résistance : $r_3 = \frac{e_3}{i_3} = \frac{E - e_1}{i_3} = \frac{240 - 122}{0.0725}$ $= 1\,627$ ohms.

Plaçons-nous maintenant dans les conditions réelles de la pratique, c'est-à-dire que l'ajutage est mis à la terre par le corps de l'homme et le tuyau ; la résistance totale du circuit est alors : $r = r_3 + \frac{1}{\frac{1}{5\,000} + \frac{1}{15\,000}} = r_3 + \frac{5\,000 \times 15\,000}{20\,000} = r_3 + 3\,750$; on voit qu'il suffit, pour obtenir cette résistance totale, d'ajouter à la résistance variable du filet liquide le nombre 3 750. Le courant est alors $I = \frac{240}{r_3 + 3\,750} = \frac{240}{1\,627 + 3\,750} = 0{,}0446$ ampère. Désignons par I_1 et I_2 les courants qui traversent respectivement le corps de l'opérateur et le tuyau ; on a : $I_1 + I_2 = I$, ou $I_1\left(1 + \frac{I_1}{I_2}\right) = I_1\left(1 + \frac{5\,000}{15\,000}\right) = I$, et enfin $I_1 = \frac{I}{4}$; le courant auquel est soumis l'homme qui manœuvre la lance est, avec les hypothèses faites sur les résistances, le quart du courant total, soit 11,115 milliampères dans l'exemple choisi.

Nous résumons-ci-dessous les résultats des essais multiples effectués par l'auteur en n'empruntant à ses tableaux que les valeurs limites, nous désignons par L la longueur de la veine liquide.

Essais 1 et 2. — Distribution triphasée avec montage en étoile et point neutre à la terre. Tension entre deux conducteurs : 6 000 volts ; section des conducteurs, 95 mm². Les fils sont nus et parfaitement décapés avant l'expérience.

Eau pure

L (mm)	E volts	e_1 volts	i_1 milliampères	r ohms	I milliampères	I_1 milliampères
110	6 000	130	120,3	36635	94,6	63,7
200	»	55	51	74 535	46,4	30,7
300	»	30	27,8	131 435	26,3	17,4
1 250	»	0	0	∞	0	0

Eau additionnée de 0,5 p. 100 de soude.

L (mm)	E volts	e_1 volts	i_1 milliampères	r ohms	I milliampères	I_1 milliampères
200	»	1 000	20.4	14 950	232	57,5
900	»	125	115,7	28 120	123	30,8
1 000	»	110	102	31 550	110	28
2 250	10	0	0	∞	0	0

On voit que pour des valeurs de L supérieures à 300 mm avec l'eau pure, et 1000 mm avec l'eau sodée, l'action du courant peut être considérée comme inoffensive.

Essais 3 et 4. — Distribution triphasée avec montage en étoile et l'une des phases à la terre. Tension entre deux conducteurs, 125 volts.

On n'a jamais atteint l'intensité critique de 30 milliampères.

Essais 5 et 6. — Distribution à courant continu emprunté à une batterie d'accumulateurs dont le pôle négatif était mis à la terre. Tension du réseau : 550 volts.

Eau pure

L (mm)	E volts	e_1 volts	i_1 milliampères	r ohms	I milliampères	I_1 milliampères
30	550	87	34,3	22 385	24,6	16,3
300	»	18	7,1	78 935	6,97	4,61
900	»	0	0	∞	0	0

Eau additionnée de 0,5 p. 100 de soude.

L mm	E volts	e_1 volts	i_1 milliampères	r ohms	I milliampères	I_1 milliampères
30	550	440	43,5	4 586	120	30
80	»	380	37,6	5 245	105	26,3
300	»	146	28,8	10 700	51,3	12,8
3 000	»	0	0	∞	0	0

Ici le danger semble nul avec de l'eau pure, tandis que l'eau conductrice exige encore un écart de 80 mm.

Essais 7 *et* 8. — Distribution à courant continu. Tension : 240 volts.

Les plus hautes intensités constatées ont été 7,66 et 11,15 milliampères.

En résumé, ces chiffres prouvent péremptoirement que l'arrosage des canalisations électriques ne peut entraîner aucun risque pour l'homme qui tient la lance ; le seul cas défavorable est celui qui correspond aux essais 1 et 2 ; mais il est assez rare, dans la pratique industrielle, de constituer un réseau à 6 000 volts avec des conducteurs nus.

T. P.

ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

Note sur l'électrométallurgie de l'aluminium. par **Gustave Gin**. Communication faite au 5e Congrès international de chimie, Berlin, 1903.

« *Choix de l'électrolyte.* — En solution dans un sel fondu on peut électrolyser les combinaisons de l'aluminium avec les métalloïdes mono ou bivalents.

» L'électrolyse des sels doubles doit être rapportée à celles des composés binaires, en ce sens qu'il y a dédoublement primaire de la molécule complexe, puis dissociation du constituant binaire le moins exothermique dans les conditions de l'expérience.

» Le bain électrolytique comprenant l'électrolyte proprement dit et son dissolvant doit satisfaire aux conditions physiques suivantes (1) :

» Avoir un point de fusion peu élevé ; posséder à l'état fondu une fluidité convenable, une densité inférieure à celle de l'aluminium fondu, une tension de volatilisation peu importante et une résistivité électrique aussi faible que possible.

» Au point de vue chimique, le composé à électrolyser doit être choisi parmi les moins exothermiques. Cette condition n'est pas d'obligation aussi étroite que les précédentes, mais elle correspond à la dépense minima d'énergie et il est intéressant d'en apprécier l'importance.

» Or, pour un électrolyte quelconque, le poids d'aluminium libéré ne dépendant que de la quantité d'électricité mise en jeu, il en résulte que l'*énergie dépensée est uniquement proportionnelle à la tension du bain.* Or, cette tension se décompose en deux parties, dont l'une est fonction de la résistivité du bain, de l'écartement des électrodes, et de la densité du courant ; l'autre partie c'est-à-dire la tension de polarisation correspond au passage des ions à l'état moléculaire et elle dépend de la chaleur de formation de l'électrolyte laquelle comprend la chaleur d'ionisation des constituants.

» Les données expérimentales relatives aux sels fondus, bien moins nombreuses que celles qui se rapportent aux solutions aqueuses, sont insuffisantes pour résoudre toutes les difficultés du calcul de la tension de polarisation.

» Cependant il est à présumer que dans les dissolutions ignées des sels haloïdes de l'aluminium la dissociation est à peu près complète, et cette présomption semble se vérifier dans l'électrolyse du fluorure d'aluminium pour laquelle M. Minet a recueilli des observations d'une exactitude plausible.

» *Electrolyse de* AlF^3. — Si l'ionisation est complète, la chaleur correspondant à la tension de polarisation est égale à la somme des chaleurs d'ionisation de l'anion et du cation et l'on aura :

$$Q = J_F + J_{Al}^{\frac{1}{3}} = 50\,750 + 40\,100 = 90\,850 \text{ c. gr. d.}$$

ce qui correspond à une tension

$$E = \frac{90\,850}{23\,067} = 3,93 \text{ volts.}$$

» En fait, M. Minet a trouvé expérimentalement 2,5 volts seulement ; mais, le désaccord n'est qu'apparent et provient de ce que le calcul précédent ne tient pas compte des réactions secondaires produites par le fluor libéré.

Dans une communication au Congrès de Métal-

(1) « Ces conditions ont été formulées par M. Minet à une époque où les recherches électrochimiques étaient singulièrement plus difficiles qu'elles ne le sont aujourd'hui. »

lurgie de 1900, M. Heroult admettait que dans l'électrolyse de la cryolithe il ne se dégage pas de fluor et qu'il se forme un fluorure acide de sodium soluble dans l'eau, c'est-à-dire qu'à la décomposition de Al^2F^6, 6NaF correspondrait la formation de 6 molécules du composé NaF^2. Or, les éléments monoatomiques ne pouvant former entre eux qu'une seule série de composés, le corps NaF^2 ne peut exister et il est probable que le corps soluble signalé était simplement du fluorure de sodium normal formant le résidu de la cryolithe décomposée.

» Il est bien exact que le fluor ne se dégage pas à l'état libre, mais sous forme de tétrafluorure de carbone mélangé à un fluorure plus carburé.

» Cette réaction présente du reste, la plus grande analogie avec celle qui accompagne l'électrolyse de l'alumine en solution, laquelle donne à l'anode de l'anhydride carbonique mélangé d'oxyde de carbone.

» Si maintenant, nous tenons compte de la réaction du fluor sur l'anode, la formule précédente doit s'écrire :

$$Q = J_F + J_{Al}^{\frac{1}{3}} - \text{Chal. formation } C^{\frac{1}{4}}F$$

ou

$$Q = 50\,750 + 40\,100 - 33\,400 = 57\,450\,;$$

d'où

$$E = \frac{57\,450}{23\,067} = 2{,}49 \text{ volts}$$

valeur qui coïncide avec l'évaluation de M. Minet.

» *Electrolyse de Al^2O^3*. — Passons maintenant à l'électrolyte de Heroult et de Hall dans lequel c'est l'oxyde d'aluminium qui est décomposé.

» Nous aurons :

$$Q = J_O^{\frac{1}{2}} + J_{Al}^{\frac{1}{3}} - \text{Chal. formation } C^{\frac{1}{2}}O$$
$$= 34\,950 + 40\,100 - 24\,400 = 50\,650 \text{ c. gr. d.}$$

d'où

$$E = \frac{50\,650}{23\,067} = 2{,}19 \text{ volts.}$$

» En appliquant la méthode de Max Le Blanc à la mesure de la tension de polarisation d'un bain fondu contenant $Al^2O^3 + (Al^2F^6, 6\,NaF)$ j'ai trouvé 2,3 volts comme moyenne de 4 observations.

Electrolyse de Al^2S^3. — Pour le sulfure d'aluminium, on a de même :

$$Q = J_S^{\frac{1}{2}} + J_{Al}^{\frac{1}{3}} - \text{Chal. formation } C^{\frac{1}{4}}S^{\frac{1}{2}}.$$

» Mais la chaleur de formation fournie par les tables correspond à S solide, tandis que le composé CS^2 se forme en partant de S gazeux. On a une valeur plus approchée de la chaleur de formation en ajoutant au nombre des tables la chaleur totale de volatilisation calculée par la formule de Forcrand, soit 21 600 c. gr. d. pour T = 720° C.

» Dans ces conditions, la chaleur de formation de $C^{\frac{1}{4}}S$ au lieu d'être négative devient positive et passe de — 6 450 à + 4 350.

» On a donc :

$$Q = -\,6\,300 + 40\,100 - 4\,350 = 29\,350 \text{ c. gr. d.}$$

d'où

$$E = \frac{29\,350}{23\,067} = 1{,}27 \text{ volt.}$$

» On déduit des chiffres précédents que pour la préparation d'un kilogramme d'aluminium, au moyen des électrolytes considérés, l'énergie consommée sera donnée approximativement par l'une des formules suivantes dans lesquelles K_F, K_O, K_S, sont des quantités variables entre 16 et 19 kilowatts :

Pour Al^2F^6 . . . $T = (K_F + 8{,}5)$ kilowatts-heure.
Al^2O^3 . . . $T = (K_O + 7{,}5)$ »
Al^2S^3 . . . $T = (K_S + 4{,}4)$ »

» L'écart maximum entre les divers électrolytes est donc probablement voisin de 5 kilowatts-heure. Au prix actuel de l'énergie électrique fournie par les grandes chutes d'eau cet écart représente à peine quelques centimes par kilogramme d'aluminium.

» En résumé le prix de revient de l'aluminium dépend beaucoup moins de la plus ou moins facile décomposition de l'électrolyte que du coût de cet électrolyte. Le problème économique est donc d'ordre chimique plutôt qu'électrochimique.

» Avant que de terminer, je dois signaler une observation intéressante :

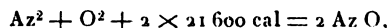
En électrolysant un mélange de cryolithe artificielle et de sulfure d'aluminium et en arrêtant l'opération avant sa fin, j'ai constaté la présence dans l'électrolyte d'un sous-sulfure d'aluminium

nettement cristallisé de couleur rouge cinabre clair. Je poursuis l'étude de ce composé dont les travaux de M. SABATIER laissaient prévoir l'existence. »

Procédé électrique pour préparer les composés azotés au moyen de l'azote atmosphérique, par **E. Rasch**, *Dingler's Polytechnisches Journal*, t. CCCXVIII, n° 17, p. 1-15, 25 avril 1903.

C'est un fait frappant qu'en dépit de son importance économique, on ait jusqu'ici donné bien peu d'attention au problème de la production, au moyen de l'étincelle électrique, de l'union de l'azote et de l'oxygène atmosphériques.

M. Rasch fait remarquer que les résultats jusqu'à ce jour obtenus, et presque exclusivement par des expérimentateurs anglais et américains, sont d'un caractère plutôt qualitatif et qui ne permet pas de conclusions quelque peu précises. Après avoir fait l'historique de la question, M. Rasch expose les points caractéristiques que présentent toutes les méthodes jusqu'ici préconisées. De l'air atmosphérique (20,8 p. 100 d'oxygène; 79, 2 p. 100 d'azote) étant aspiré à travers un spintéromètre à haute tension, la molécule d'azote Az^2 est détruite à la température élevée de ce dernier et oxydée par l'oxygène présent dans l'air, suivant l'équation :



$$Az^2 + O^2 + 2 \times 21\,600 \text{ cal} = 2\,Az\,O,$$

ou



$$Az^2 + O^2 + 50{,}1 \text{ watts-heure} = 2\,Az\,O\,;$$

c'est dire que cette oxydation est une réaction *endothermique* nécessitant, pour qu'elle se produise, une dépense d'énergie considérable. L'état d'équilibre du mélange gazeux résultant est donné par la loi « des effets de masse » de MM. Guldberg et Waage, la constante d'équilibre K venant d'être déterminée par MM. W. Muthmann et H. Hofer (*Berichte d. Deutsch. Chem. Ges*, 1903 t. II, p. 438). Comme toutefois les résultats de ces expérimentateurs sont entachés d'une erreur de calcul. M. Rasch donne, dans le présent travail, les valeurs corrigées de cette constante. Il fait voir que pour produire 30 gr de AzO, il faut 0,55, au lieu de 0,3954 kilowatts-heure, ce qui correspond à un total de 8 745 kilowatts-heure = 12 chevaux pour produire 1 kg d'acide nitrique (477 gr de AzO), correspondant à une dépense de 30 centimes.

L'auteur est d'avis que les valeurs corrigées donnent le moyen d'augmenter le *rendement* du procédé. Le coefficient d'équilibre, dont dépend le rendement en AzO, varie en effet notablement avec la température, d'après l'équation de Van't Hoff. M. Rasch fait voir que le débit s'accroît rapidement avec la température du foyer de réaction, atteignant à 2 115° une valeur double ; à 4 000°, une valeur douze fois celle qu'obtient M. Muthmann. La question qui se présente est de savoir comment on peut réaliser un foyer de réaction capable de donner des températures aussi élevées. L'auteur pense que la réaction est due à un effet purement thermique et qui ne nécessite point la présence d'étincelles électriques. Aussi il conseille d'employer comme générateurs de chaleur des résistances (ou électrodes composées d'un conducteur de seconde classe) chauffées par l'électricité. Les filaments de Nernst, par exemple, donneraient facilement des températures excédant de quelques centaines de degrés celles des micromètres à étincelles et qui, par conséquent, correspondraient à un rendement double. Un moyen plus efficace d'accroître le rendement serait l'emploi d'arcs électriques jaillissant entre des conducteurs du second ordre (sels métalliques, etc.), grâce à une disposition convenable des vases à électrodes et des connections. Les mesures photométriques de ces remarquables arcs électriques mettent en évidence les températures extrêmement élevées ainsi produites et qui sont bien supérieures à celles des arcs à électrodes en charbon, ces derniers ne se prêtant pas à l'application en cause, en raison des effets réducteurs antagonistes auxquels ils donnent lieu. A la température des arcs à électrodes de charbon 46 p. 100 de l'air atmosphérique serait converti en oxydes d'azote, donnant de l'acide nitrique.

A. GRADENWITZ.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 8 juin 1903.

Sur une nouvelle relation générale entre les forces électromotrices des dissolutions salines, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1357-1373.

Dans un précédent mémoire [1] l'auteur a établi que la force électromotrice E d'une pile formée d'un acide et d'une base est égale à la somme des forces électromotrices E_1 et E_2 de deux piles formées l'une de l'acide et du sel correspondant, l'autre de la base et de ce même sel. Dans ce nouveau mémoire, M. Berthelot étend cette relation aux piles respectivement formées d'électrolytes salins A et B, de l'un de ces électrolytes A et du mélange AB, enfin de l'électrolyte B et du même mélange AB [2].

Les nombreuses expériences faites par l'auteur pour vérifier cette loi et décrites dans le mémoire sont divisées en six groupes :

1° Sels d'acides forts ; par exemple $A = ZnSO^4$, $B = CuSO^4$;

2° Sels d'acides faibles ; ainsi $A = 2AzH^4Cl$, $B = Na^2B^2O^7$.

3° Acide et sel neutre d'acide fort ; $A = HCl$, $B = NaCl$;

4° Base et sel neutre d'acide fort ; $A = NaCl$, $B = NaOH$;

5° Sels doubles stables dans l'état dissous comme $HgCy^2, 2KCy$;

6° Piles d'oxydation.

Nous renvoyons au mémoire original pour les détails de ces expériences [3].

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 431, 13 juin 1903.

(2) Les composés A et B appartiennent au type salin normal et leurs dissolutions ont des concentrations chimiques équivalentes. Par exemple A renferme l'équivalent dissous dans 5 litres : soit pour les corps bivalents, 1 molécule dans 10 litres ; de même pour B ; AB est préparé en mélangeant à l'avance A et B à volumes égaux.

(3) Ces expériences ont toutes été faites en plaçant les solutions A, B et AB dans des vases poreux ; les électrodes étaient en platine.

Dans ces conditions expérimentales, la loi établie nous paraît *évidente*.

En effet, par suite de la diffusion des liquides A et B à travers le vase poreux, nous avons dans la pile formée par ces liquides A et B, 4 surfaces de contact : Pt et A, A et AB, AB et B et enfin B et Pt. Par suite

$$E = Pt|A + A|AB + AB|B + B|Pt,$$

Pt|A, désignant les différences de potentiel au contact. Dans les deux autres éléments, on aura

$$\varepsilon_1 = Pt|A + A|AB + AB|Pt$$
$$-\varepsilon_2 = Pt|B + B|AB + AB|Pt.$$

Par conséquent on doit avoir identiquement

$$E = \varepsilon_1 - (-\varepsilon_2) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

(N. d. l. R.

Examen des conditions qui déterminent le signe et la grandeur de l'osmose électrique et de l'électrisation par contact, par **Jean Perrin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1388-1391.

I. Quand une cloison poreuse sépare en deux régions un vase plein de liquide et quand on plonge dans les deux portions de liquide ainsi définies deux électrodes à des potentiels différents, il se produit un mouvement d'ensemble du liquide au travers de la cloison : c'est l'*osmose électrique*.

La discussion des résultats a montré que cette osmose résulte de l'électrisation que la matière de la cloison acquiert par simple contact avec le liquide (à la façon dont la résine se charge par contact avec une peau de chat), le liquide acquérant alors l'électrisation de signe contraire. Si, par exemple, la surface des canaux capillaires qui sillonnent la cloison se charge négativement, le liquide se charge positivement et, sitôt que l'on crée un champ électrique, s'écoule en masse dans le sens de ce champ.

Cette électrisation entraîne d'autres conséquences évidentes. Si l'on fait, en l'absence du champ électrique, filtrer du liquide par compression au travers de la cloison précédente, les portions filtrées doivent être chargées positivement, ce que l'expérience vérifie. On voit également que, si l'on place en suspension dans le liquide de très fines poussières faites avec la substance qui formait la cloison, et si l'on y réalise un champ électrique, ces poussières devront se mouvoir dans le sens inverse du champ, ce que l'expérience vérifie encore. On

doit enfin, selon toute vraisemblance, regarder comme un cas particulier de ce dernier phénomène le déplacement, vers l'une ou l'autre électrode, qu'une matière quelconque, *en solution colloïdale*, subit dans un champ électrique.

Bref, l'électrisation de contact est la chose importante, mais l'osmose électrique est un des moyens simples par lesquels on peut l'étudier. L'intérêt principal de cette étude semble à M. Perrin précisément tenir à ceci, que l'électrisation de contact joue probablement un rôle capital dans les propriétés des colloïdes et, par suite, dans les propriétés des *granules* ou *micelles* qui paraissent former toute matière vivante.

L'osmose proprement dite a permis, ajoute l'auteur, d'élucider plusieurs propriétés jusqu'alors mystérieuses de la cellule vivante ; de même, il est permis de penser que l'analyse des conditions qui influent sur l'osmose électrique contribuera, de façon importante, à réduire en des phénomènes physico-chimiques les phénomènes de la vie.

II. L'appareil employé n'est en définitive qu'un simple tube en U dont une branche est démontable en trois parties. La partie supérieure, munie d'une électrode et d'un robinet qui sera fermé pendant l'expérience, se prolonge en tube capillaire gradué, presque horizontal, ouvert à l'air libre. La partie moyenne porte la cloison poreuse P. Enfin, deux électrodes se trouvent soudées dans chaque branche du tube en U de part et d'autre de la cloison.

Pour faire une expérience, on enlève la partie supérieure, on place sur un léger rebord situé au bas de la partie moyenne un tampon mince et lâche de coton de verre dont l'action osmotique sera négligeable et l'on verse sur ce tampon la bouillie obtenue en délayant dans le liquide la substance devant servir de cloison, d'abord réduite en poudre, puis bien lavée et purgée d'air. Il se forme ainsi un bouchon poreux dont on achève le tassement en y faisant passer de nouvelles portions de liquide aspirées à la partie inférieure du tube en U par la succion d'une trompe. Puis on remet la partie supérieure et l'on termine le remplissage, de façon que le niveau du liquide dans le tube capillaire prenne sensiblement dans ce tube la position d'équilibre qu'il occuperait en l'absence du bouchon poreux. On établit alors une différence de potentiel entre les électrodes et l'on observe les déplacements du niveau, qui ne peuvent produire aucune variation appréciable dans les pressions transmises.

III. Un premier résultat se rapporte à la nature du liquide employé.

On observe très facilement une osmose notable quand ce liquide est l'eau ; on observe encore une osmose notable et en moyenne décroissante quand on remplace l'eau par l'alcool méthylique, l'alcool méthylique par l'alcool éthylique, l'alcool éthylique par l'alcool amylique ; l'osmose est encore notable pour l'acétone et même pour l'acétate d'éthyle ; enfin, elle est très notable pour la nitrobenzine.

Au contraire, aucune osmose appréciable n'a pu être constatée par ce dispositif, même pour un champ électrique de 100 volts par centimètre, dans le cas de la benzine, de la térébenthine et de l'éther, ni même dans le cas de l'éther saturé d'eau.

Si l'on cherche un caractère qui sépare ces deux groupes de liquides, on observe que les liquides du premier groupe, au contraire des liquides du second groupe, ont un grand pouvoir inducteur spécifique, et, par suite, sont de bons ionisants : *l'osmose électrique n'est intense que pour les liquides ionisants*.

IV. Un autre résultat est relatif à l'extrême sensibilité de l'osmose électrique, et par suite de l'électrisation par contact, aux moindres traces de certains électrolytes, et, par suite, de certains ions.

Sur la conductibilité extérieure des fils d'argent plongés dans l'eau, par **E. Rogovsky**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1391-1393.

Les expériences décrites dans cette note pouvant présenter quelque intérêt pour la confection de rhéostats formés de fils métalliques plongés dans un liquide, nous croyons devoir les reproduire :

« On entend par *conductibilité extérieure* d'un corps la quantité de chaleur passant à travers 1 cm² de sa surface pendant une seconde, quand la différence entre la température de la surface de ce corps et celle du milieu ambiant est égale à 1° C. La détermination de cette conductibilité entre l'argent et l'eau a été l'objet de l'étude suivante, où j'ai appliqué une méthode analogue à celle qui a été employée par MM. Rivière et Ayrton et Kilgour dans leurs recherches sur le

pouvoir émissif des fils dans l'air et dans des gaz.

» Des fils d'argent, de 0,281 mm à 0,868 mm de diamètre, soudés à des électrodes cylindriques de laiton, sont tendus dans des tubes en verre de 1 cm de diamètre intérieur, traversés par un courant continu d'eau distillée ayant une vitesse de 37 cm à 104 cm par seconde. On fait passer par ces fils des courants électriques de 0,3 ampère à 32 ampères, dont on mesure les intensités à l'aide d'un galvanomètre étalonné.

» En même temps on déterminait la différence de potentiel de deux points des fils parcourus par le courant au moyen de la comparaison de la force électromotrice d'un élément de Clark. En négligeant la conductibilité de l'eau selon les expériences de MM. Poggendorff (*Pogg. Ann.*, t. LXIV, 1845, p. 54), Sanford (*Philos. Mag.*, t. XXXV, 1893, p. 15) et Griffith (*Philos. Trans. of roy. Soc. of Lond.*, t. CLXXXIV, 1893, p. 413), de là on pouvait déterminer la résistance des fils et la quantité de chaleur développée par le courant ; l'état stationnaire étant acquis, cette quantité est égale à celle qui passe à travers la surface extérieure du fil. La relation entre la résistance des fils et leur température ayant été déterminée préalablement, on pouvait calculer leur température, laquelle, dans tous les points d'une section transversale, peut être considérée comme uniforme. La température de l'eau qui traversait les tubes de verre était déterminée à l'entrée et à la sortie par des thermomètres divisés en cinquièmes de degré. La vitesse du courant d'eau n'était jamais moindre de 37 cm par seconde et surpassait ainsi *la vitesse critique* de M. Osborne Reynolds, laquelle est égale, dans les conditions données, à $21 \frac{\text{centimètres}}{\text{secondes}}$. Par conséquent, le courant d'eau n'était pas composé de couches concentriques, mais il se formait des tourbillons qui ne permettaient pas à l'eau d'adhérer à la surface des fils. On peut donc admettre que la température de l'eau dans un tube en verre était égale à la moyenne arithmétique des températures de l'eau à l'entrée du tube et à la sortie. La différence entre ces dernières ne dépassait pas 0,35° (à 32 ampères), étant ordinairement moindre de 0,1°.

» Comme exemple, les résultats d'une interpolation graphique des observations sur un fil d'argent pur de 0,415 mm de diamètre sont donnés dans la table suivante, où I exprime l'intensité du courant en ampères, ρ la résistance de la partie moyenne du fil en ohms internationaux, ϑ l'élévation de la température du fil, c'est-à-dire la différence entre la température du fil et celle de l'eau ambiante en degrés centigrades, Q la quantité totale de chaleur perdue par le fil pendant une seconde, $q = \frac{Q}{s}$ la quantité de chaleur perdue par seconde par chaque centimètre carré de la portion du fil dont la surface est s, $H = \frac{Q}{s\vartheta}$ est la conductibilité extérieure. La température de l'eau ambiante étant 17,5° et sa vitesse $57,1 \frac{\text{centimètres}}{\text{secondes}}$.

I amp.	ρ ohms int.	ϑ^o. o	Q calor.	q.	H.
0	0,02349 (¹)	0	0	0	»
4	2355	0,79	0,09002	0,03774	0,0478
7	2366	2,18	0,27697	0,11613	0,0533
8	2372	2,85	0,36267	0,15206	0,0534
9	2378	3,62	0,46017	1,19294	0,0533
10	2384	4,38	0,56955	0,23880	0,0545
12	2396	5,91	0,82427	0,34561	0,0585
16	2424	9,36	1,4825	0,62158	0,0664
20	2454	13,04	2,3450	0,98324	0,0754
24	2486	16,86	3,5167	1,4410	0,0855
28	2520	20,91	4,7200	1,9790	0,0947
32	2556	25,22	6,2529	2,6218	0,1040

(¹) Nombre fourni par l'extrapolation au moyen de la courbe.

» Pour les différences des températures ϑ au-dessus de 3,5° ($I > 9$ ampères), la quantité H peut être exprimée pour tous les fils assez précisément par la formule

$$H = a + b\vartheta.$$

» Pour un fil de 0,415 mm de diamètre à la température de 17,5° et à la vitesse de $57,1 \frac{\text{centimètres}}{\text{secondes}}$ du courant d'eau, on a trouvé

$$a = 0{,}0439, \qquad b = 0{,}00244.$$

» Pour un fil de 0,281 mm à 15,5° et à la même vitesse

$$a = 0{,}1473, \qquad b = 0{,}00256.$$

Les nombres a et b dépendent de la température de l'eau ambiante et le rapport entre ces quantités a été déterminé pour un fil d'argent non chimiquement pur de diamètre 0,326 mm et à la vitesse de l'eau égale à 37,1 $\frac{\text{centimètres}}{\text{secondes}}$

$$a = 0{,}1956 + 0{,}0006603 t_0,$$
$$b = 0{,}00400 + 0{,}0000717 t_0.$$

» Pour déterminer la relation entre la conductibilité extérieure et la vitesse du courant d'eau, on a comparé la conductibilité extérieure des fils de 0,415 mm et 0,281 mm de diamètre pour la vitesse du courant 104 et 57,1 $\frac{\text{centimètres}}{\text{secondes}}$. Ce rapport est égal approximativement à 1,41, et le rapport des racines carrées des diamètres des deux fils égale 1,33 ; par conséquent on peut admettre que la conductibilité extérieure est à peu près proportionnelle à la racine carrée de la vitesse du courant d'eau.

» Si nous supposons que a et b sont proportionnels à d^n, où d est le diamètre du fil et n un exposant, nous trouvons que ce dernier est négatif pour a et sa valeur numérique égale à 3, pour les fils d'argent pur de 0,415-0,281 mm de diamètre, diminuant pour les fils ayant un diamètre plus petit ou plus grand. L'exposant n dans l'expression de b varie de — 0,182, pour les fils d'argent pur de 0,415-0,281 mm de diamètre, à + 0,702 pour les fils d'argent impur de 0,326-0,194 mm de diamètre.

» Ainsi H et q peuvent être exprimés par les formules

$$H = \left(\frac{c + mt_0}{d^n} + (e + pt_0) d^{n_1} \mathfrak{S}\right)\sqrt{v}$$

et

$$q = \left(\frac{c + mt_0}{d^n} + (e + pt_0) d^{n_1} \mathfrak{S}\right)\mathfrak{S}\sqrt{v}$$

où c, m, e, p, n et n_1 sont des constantes. »

Hypothèse sur la nature des corps radioactifs, par **Filippo Re**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1393-1395.

« Nombre de faits conduisent à admettre que les atomes ne sont pas formés de matière continue, mais de particules de même nature ou de nature différente. L'existence de corps radioactifs confirme cette hypothèse, car on ne pourrait pas concevoir des atomes rigides donnant lieu aux phénomènes complexes de la radioactivité.

» Cela étant, il semble naturel de supposer que *ces particules constitutives des atomes ont été auparavant libres, et qu'elles ont constitué une nébuleuse de ténuité extrême; que, dans la suite, elles se sont réunies autour des centres de condensation, donnant naissance à des soleils infiniment petits qui, par un procédé de contraction ultérieur, ont pris des formes stables et définitives, qui seraient les atomes des éléments que nous connaissons et que nous pourrions comparer à de petits soleils éteints. Les soleils plus grands, qui ne sont pas éteints, constitueraient les atomes des corps radioactifs.*

» Cette hypothèse, dont le degré de légitimité n'est pas moindre que celui concernant l'hypothèse de la formation des mondes, permet d'expliquer :

» 1° Pourquoi les corps radioactifs possèdent un poids atomique très élevé ;

» 2° Pourquoi ils dégagent de l'énergie, qui serait due à la contraction de leurs atomes.

» D'ailleurs beaucoup des phénomènes qu'ils présentent ne diffèrent pas de ceux offerts par le soleil, ainsi que par les rayons lumineux, calorifiques, actiniques et la décharge des corps électrisés. Pour ce qui concerne la radioactivité induite, plusieurs observations prouvent que l'air, la pluie et la neige, fraîchement tombées, sont radioactifs; il ne semble pas improbable que leur radioactivité soit due à l'action de la lumière solaire.

» On ne peut rien dire sur l'influence exercée par les champs magnétiques. En effet, elle diffère de celle exercée sur les rayons solaires, mais on doit remarquer que les conditions d'observation sont très différentes : dans le premier cas, le champ entoure le corps radioactif tout près de lui ; dans le second, il est bien loin de la source. Cependant on prévoit que les corps radioactifs doivent modifier l'état magnétique, comme l'on a observé la variation du magnétisme terrestre provoquée par le soleil.

» On pourrait objecter que, si les choses étaient ainsi, la radioactivité devrait disparaître quand on a soumis les corps radioactifs à des températures très basses, comme celle de l'air liquide ; tandis qu'elle se montre invariable. Mais l'objection n'a pas plus de valeur que celle qu'on ferait en disant que l'énergie dégagée par

le soleil devrait diminuer d'une manière appréciable et même disparaître en peu d'années, puisqu'il est entouré par le froid espace sidéral. Cela serait arrivé depuis longtemps, si le soleil était un corps brûlant.

» Enfin ce fait que de petites quantités de radium dégagent des quantités remarquables d'énergie, ne doit pas nous étonner. En effet, en réfléchissant que, par les puissants moyens de désagrégation que nous possédons, nous ne sommes pas encore parvenus à séparer les éléments constitutifs des atomes, l'on doit en conclure que l'énergie, dégagée dans leur formation, doit avoir été d'un ordre de grandeur plus élevé que ceux que l'on observe lorsque la contraction est due à des forces de gravitation, moléculaires ou atomiques. Les atomes des corps radioactifs n'ayant pas encore pris leur arrangement définitif et étant au contraire dans l'état de formation, doivent donc émettre de grandes quantités d'énergie. »

Séance du 15 juin 1903.

Sur l'existence de radiations solaires capables de traverser les métaux, le bois, etc., par **L. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1421-1424.

L'auteur a recherché si les rayons N qu'il a découverts dans les radiations des sources artificielles sont également émis par le Soleil.

Comme on sait, les rayons N agissent sur les substances phosphorescentes en avivant la phosphorescence préexistante, action analogue à celle des rayons rouges et infra-rouges découverte par Edmond Becquerel. C'est ce phénomène qui a été utilisé pour rechercher si le Soleil nous envoie des rayons N.

Une chambre complètement close et obscure a une fenêtre exposée au Soleil; cette fenêtre est fermée par des panneaux intérieurs pleins, en bois de chêne, ayant 15 mm d'épaisseur. Derrière l'un de ces panneaux, à une distance quelconque, 1 m par exemple, on place un tube de verre mince contenant une substance phosphorescente, du sulfure de calcium par exemple, préalablement faiblement insolée. Si maintenant, sur le trajet des rayons du Soleil qui sont supposés atteindre le tube à travers le bois, on interpose une lame de plomb ou même simplement la main, même à une grande distance du tube, on voit l'éclat de la phosphorescence diminuer ; si l'on enlève l'obstacle, l'éclat reparaît. L'extrême simplicité de cette expérience engagera, sans doute, beaucoup de personnes à la répéter. La seule précaution à prendre est d'opérer avec une phosphorescence préalable peu intense ; il est avantageux de disposer à demeure une feuille de papier noir, de façon que l'interposition de l'écran ne change pas le fond sur lequel on voit le tube. Les variations d'éclat sont surtout faciles à saisir vers les contours de la tache lumineuse formée par le corps phosphorescent sur le fond sombre : quand on intercepte les rayons N, ces contours perdent leur netteté ; quand on enlève l'écran, ils la reprennent. Toutefois ces variations d'éclat ne semblent pas instantanées. L'interposition entre le volet et le tube de plusieurs plaques d'aluminium, de carton, d'un madrier de chêne de 3 cm d'épaisseur n'empêche pas le phénomène ; toute possibilité d'une action de la chaleur rayonnante proprement dite est, par conséquent, exclue. Une mince couche d'eau arrête entièrement les rayons ; de légers nuages passant sur le Soleil diminuent considérablement leur action.

Les rayons N émis par le Soleil peuvent être concentrés par une lentille de quartz : à l'aide de la substance phosphorescente on constate l'existence de plusieurs foyers ; je n'ai pas encore déterminé leurs positions avec assez de précision pour en parler ici. Les rayons N du Soleil subissent la réflexion régulière par une lame polie et sont diffusés par une lame dépolie.

De même que les rayons N émis par un tube de Crookes, par une flamme, ou par corps incandescent, ceux qui proviennent du Soleil agissent sur une petite étincelle et sur une petite flamme en augmentant leur éclat. Ces phénomènes sont aisément observables, surtout si l'on fait usage d'un verre dépoli interposé, comme je l'ai indiqué dans une note précédente. L'emploi de la petite flamme est de beaucoup le procédé le plus commode et le plus précis pour déterminer la position des foyers : il est plus difficile d'opérer avec la petite étincelle, parce qu'elle est rarement bien régulière [1].

[1] M. Blondlot ajoute : « Je me fais un devoir de reproduire ici textuellement un passage d'une lettre que M. Gustave Le Bon m'a fait l'honneur de m'écrire.

» M. Gustave Le Bon avait indiqué, il y a déjà sept ans, que les flammes émettent, en dehors des émanations

Sur la période diurne des aurores boréales; par **Charles Nordmann**, *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1430-1432.

L'auteur a montré antérieurement comment la considération d'un rayonnement hertzien du Soleil permet d'expliquer la production des aurores boréales, leur période annuelle et leur période undécennale [1]. Il se propose ici d'établir que les particularités de la période diurne découlent, semble-t-il, immédiatement aussi de cette conception :

« L'expérience, dit-il, a montré depuis longtemps que l'on observe en moyenne le plus grand nombre d'aurores boréales pendant les premières heures de la nuit, et cela sous toutes les latitudes, et que leur nombre, aussi bien que leur éclat, diminuent rapidement à mesure qu'on s'avance dans la nuit et jusqu'au matin.

» 1° Si les rayons hertziens du Soleil avaient une propagation rigoureusement rectiligne, on ne conçoit pas comment ils pourraient produire dans l'atmosphère des aurores boréales au-dessus des régions pour lesquelles le Soleil est couché depuis longtemps. Mais la théorie montre que l'influence de la diffraction qui croît à mesure que la longueur d'onde augmente, permet aux ondes hertziennes de contourner des obstacles relativement énormes, comme la convexité du globe terrestre; *en fait*, dans les expériences de Marconi on a envoyé des ondes hertziennes sensibles entre des points (Terre-Neuve et Cornouailles) qui, sur un grand cercle terrestre passant par eux sont à une distance d'environ 30°.

» C'est-à-dire que, à l'équinoxe, il s'ensuit que ces ondes solaires à minuit (et *a fortiori* à toute autre heure) ont dans les hautes couches de l'atmosphère (qui se comportent vis-à-vis d'elles comme des conducteurs et le long desquelles elles se propagent) une intensité qui serait sensible à nos appareils, et cela dans toutes les régions situées à moins de 30° du pôle, c'est-à-dire dans celles précisément où l'on observe ordinairement les aurores boréales.

» Il en résulterait que la période diurne apparente des aurores boréales devrait être caractérisée par un minimum au milieu de la nuit et par deux maxima l'un au commencement, l'autre à la fin de la nuit, si la production des aurores boréales en un point de l'atmosphère, à un moment donné, était proportionnelle uniquement à l'intensité des ondes hertziennes solaires qui y pénètrent.

» Nous allons voir qu'il n'en est rien et que la production nocturne des aurores dépend d'un autre facteur non moins important.

» 2° Depuis longtemps on a remarqué que l'illumination d'un tube à gaz raréfié par une excitation électrique donnée est d'autant plus vive qu'il a été soustrait depuis moins longtemps à une décharge antérieure. Les recherches récentes sur l'*ionisation* ont permis d'expliquer ce fait d'une manière précise; elles ont établi notamment : 1° que la luminescence produite dans un gaz raréfié est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus vive que le nombre des *ions* qui y préexistaient est plus grand; 2° que les *ions* produits dans un gaz disparaissent peu à peu d'une part par la *recombinaison* progressive des *ions* de signes contraires, d'autre part par la *diffusion* des ions vers les parois du tube et les électrodes.

» Dans le cas de tubes de petites dimensions et où le gaz est très raréfié, le calcul et l'expérience ont montré [1] que la diminution du nombre des ions par *recombinaison* est petite par rapport à la perte par *diffusion* et que celle-ci suffit à faire disparaître le plus grand nombre des ions au bout d'un temps très court.

» Mais il n'en est plus de même dans le cas d'un gaz occupant un espace très grand, ce qui est le cas de l'atmosphère supérieure; la diminution du nombre des ions due à la *diffusion* est alors sensiblement nulle et ce nombre ne diminue que par la *recombinaison*. Or l'expérience a montré que les rayons violets et ultra-violets sont des agents d'ionisation intense; l'atmosphère

radioactives constatées par lui ensuite, des radiations de grandes longueurs d'onde capables de traverser les métaux et auxquelles il avait donné le nom de lumière noire : mais tout en leur assignant une place entre la lumière et l'électricité, il n'avait pas mesuré exactement leur longueur d'onde, et le moyen qu'il employait pour révéler leur présence était fort incertain.

» Ce moyen était la photographie; je n'ai pu moi-même obtenir aucun effet photographique des rayons que j'ai étudiés (*Comptes rendus*, t. CXXXVI, 11 mai 1903, p. 1121). »

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 153. *Comptes rendus*, 1er avril 1902. — *Revue générale des sciences*, avril 1902.

[1] Langevin, Thèse.

doit donc être ionisée intensément par le rayonnement solaire pendant le jour; l'expérience a montré également que le nombre des ions produits par les ionisations les plus intenses ne dépasse guère 10^6 par centimètre cube.

« L'expérience et la théorie des ions ont établi que le nombre des ions présents par unité de volume de gaz, n, est lié au temps t et à un *coefficient de recombinaison* α par la formule

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2$$

» Les mesures ont indiqué que

$$\alpha = 3400 \times 7.10^{-10} \times p \text{ C. G. S. électrostatiques,}$$

p étant la pression en atmosphères.

» On peut en conclure qu'au bout de 1 heure le nombre des ions est encore égal à $\frac{1}{8}$ de sa valeur *maxima*, au bout de 2 heures à une quantité deux fois moindre, et ainsi de suite à mesure qu'on s'avance dans la nuit jusqu'au matin. En supposant la nuit égale à 12 heures le nombre des ions présents en un point de l'atmosphère est donc plus de dix fois plus grand 1 heure après le coucher du soleil que 1 heure avant son lever. Or, l'expérience a montré que l'excitabilité des gaz par les ondes hertziennes est d'autant plus grande qu'ils sont plus fortement ionisés.

» *La période diurne de la fréquence des aurores boréales doit donc être caractérisée par un maximum dans les premières heures de la soirée et ensuite par une diminution de l'intensité et du nombre des aurores à mesure qu'on avance dans la nuit et jusqu'au matin.*

» C'est en effet ce que l'observation a établi.

» Comme d'autre part la clarté du ciel empêche de voir les aurores avant la fin du crépuscule et que la durée de celui-ci augmente à mesure qu'on avance vers le pôle, il s'ensuit qu'à *mesure qu'on approche du pôle, le maximum apparent de la période diurne doit avoir lieu plus tard dans la soirée*. C'est précisément ce qu'on a constaté : dans l'Europe centrale (50° lat. N.) le maximum diurne s'observe vers 9 heures du soir; plus au Nord, à Christiania et Upsal (60° lat. N.) entre 9 h. 30 m. et 10 heures et à Bossekop (70° lat. N.) vers 10 h. 30 m. [1]. On a observé la même chose en Amérique. »

(1) Angot, *Les aurores polaires*, passim.

Classement des liquides et des cristaux au point de vue magnétique, par **Georges Meslin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1438-1441.

Il résulte des indications données antérieurement que, pour classer les corps liquides et les corps cristallisés, au point de vue de leur pouvoir magnétique et du dichroïsme des liqueurs constituées par leurs groupements, il suffira d'opérer de la façon suivante :

On envisagera un liquide quelconque, l'alcool éthylique, par exemple et l'on inscrira au-dessus de lui tous les solides qui, par leur association avec l'alcool, forment un liquide au dichroïsme négatif, et au-dessous tous ceux qui donnent naissance au dichroïsme positif, cette règle s'applique sans modification dans le cas de l'alcool dont l'indice de réfraction, étant très faible, est généralement moindre que celui des solides étudiés; mais s'il s'agit d'un liquide plus réfringent que le solide, on applique la règle en sens contraire en mettant au-dessous de lui les solides qui donnent le dichroïsme négatif et inversement; on aura ainsi partagé les solides en deux groupes : dans le premier se trouveront les corps dont le coefficient de diamagnétisme principal (relatif à l'état cristallin) est inférieur au coefficient de l'alcool éthylique.

En prenant ensuite un deuxième liquide, le chloroforme, par exemple, on verra immédiatement à quel groupe il appartiendra, car il permettra de diviser les corps de ce groupe en deux catégories que l'on obtiendra par la même règle que plus haut, en observant toujours la loi des indices, tandis qu'il se placera d'un même côté par rapport aux corps de l'autre groupe, côté qui sera alors déterminé si la formation du tableau est possible sans contradiction. Il se peut d'ailleurs que le liquide se place entre les deux groupes précédemment formés, à côté de l'alcool, où encore à l'une des extrémités, c'est-à-dire au commencement ou à la fin du tableau. On continuera ce classement en introduisant successivement les solides et les liquides qu'on aura étudiés.

On trouvera dans la note originale le tableau auquel l'auteur est arrivé par cette méthode.

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 156, 159 et 354, et t. XXXVI, p. 33.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXVI Samedi 18 Juillet 1903. 10e Année. — N° 29

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR UN
NOUVEAU MODE DE PRODUCTION DES ONDES ÉLECTRIQUES
EMPLOYÉES EN TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Malgré les efforts considérables des savants et des expérimentateurs, le problème de la syntonisation paraît n'avoir pas encore reçu de solution véritablement efficace. Or il est vraisemblable que la télégraphie sans fil ne pourra entrer dans le domaine de la pratique que le jour où les signaux émis par un transmetteur donné seront décelés uniquement par un récepteur déterminé, et réciproquement. Cette syntonisation semble à peu près impossible avec les appareils actuels : en effet, les producteurs d'ondes employés jusqu'ici reposent sur le principe de l'excitateur de Hertz, dans lequel l'étincelle joue le rôle d'un déclenchement brusque entre deux charges contraires d'électricité. Or les oscillations amorties auxquelles ce déclenchement donne naissance changent de nature à chaque instant par suite des variations de résistance dues aux variations de l'étincelle. La complexité de la perturbation a été mise en évidence par les expériences de MM. Sarrazin et de la Rive, et l'inconstance de la période vibratoire par les expériences de M. Tissot. En outre, toute l'énergie du transmetteur est rayonnée en une ou deux oscillations seulement, et, par suite, les oscillations induites dans le récepteur se produisent librement avec leur période propre. Pour qu'il y ait syntonisation, il faut que les oscillations transmises puissent synchroniser le système oscillant récepteur ; d'autre part pour que ces oscillations forcées atteignent une amplitude suffisante, il faut que les circuits transmetteur et récepteur soient dans les conditions de résonance, ou tout au moins très près de ces conditions. En conséquence, pour qu'il y ait syntonisation véritable, il est absolument nécessaire que :

1° La période propre d'oscillations du circuit récepteur soit égale à la période des

oscillations émises, ce qu'on obtient en faisant $LC = L'C'$ dans le transmetteur et le récepteur.

2° L'énergie soit transmise par une série persistante d'oscillations régulières, capables de synchroniser le système oscillant récepteur.

On peut obtenir quelques résultats dans cette voie en employant un exploseur alimenté par un alternateur à forte impédance avec une self et une capacité en parallèle, et en soufflant énergiquement l'étincelle. Si l'on observe au miroir tournant les phénomènes en jeu quand on ne pratique pas le soufflage, on voit, pour chaque demie période de l'onde fondamentale, une image formée d'une série d'étincelles correspondant aux décharges successives du condensateur. L'intervalle entre deux étincelles consécutives décroît très rapidement, passe par un minimum et recroît symétriquement : il en est de même de l'éclat des étincelles qui, très vif vers les bords de l'image, baisse considérablement au milieu.

Il y a probablement à cela deux causes; la cause déterminante est celle-ci : l'étincelle se produit au moment où le condensateur est chargé d'une quantité d'électricité $Q = CV$, V étant le voltage explosif de l'éclateur. Si V ne varie pas, Q reste constant : or Q est égal à $\int idt$ et représente une aire de surface constante dont la hauteur i croît de o à I_{max} pour décroître vers o, si l'on suppose le courant sinusoïdal; donc la base δt décroît inversement jusqu'au milieu de la demi-période pour recroître ensuite : ceci explique déjà le rapprochement des étincelles. La seconde cause, prédominante, est la suivante : la conductibilité de l'air situé entre les boules augmente extrêmement vite quand l'intervalle entre les décharges diminue. Donc, pendant que l'onde fondamentale passe de o à I_{max}, l'air devient de plus en plus conducteur et le voltage explosif V baisse. La quantité $Q = CV$ diminue : d'une part cela contribue à resserrer encore plus les étincelles de décharge puisque $Q = \int idt$; et d'autre part l'éclat baisse rapidement, puisque l'énergie en jeu dans chaque étincelle va en diminuant. L'inverse se produit, naturellement, quand l'onde fondamentale décroît de I_{max} à o. On constate en outre que, par un phénomène peu facilement explicable, ces effets sont d'autant plus accentués que la self-induction est plus importante dans le système oscillant : il est possible que la self mise en jeu ait une action sur la chaleur des étincelles.

Au contraire, si l'on dirige entre les boules de l'exploseur le jet d'une soufflerie, on voit au miroir tournant que les étincelles ont toutes le même éclat et que leur écartement diminue beaucoup moins qu'auparavant vers le milieu de l'image : cela justifie la seconde explication, puisque dans ce cas V reste toujours le même. Il est donc possible d'obtenir, par ce procédé, une série d'ondes à peu près régulières capables de synchroniser le système récepteur. Mais il ne faut pas oublier que chacune de ces étincelles représente une décharge oscillante amortie donnant lieu à des oscillations parasites. Ce dispositif ne répond donc pas entièrement au but tracé, et il est nécessaire de chercher un appareil basé sur un principe différent. Dans son admirable étude sur les courants alternatifs, publiée en 1891, M. Maurice Leblanc signale la grande analogie existant entre un courant alternatif et un son. Il rappelle qu'on dispose de deux moyens pour produire un son :

1° Faire vibrer une corde tendue qui effectue un certain nombre d'oscillations amorties pour revenir à sa position d'équilibre quand on l'en a écartée.

2° Se servir d'un appareil à anche dans lequel des vibrations parfaitement régulières sont engendrées par l'air qui s'écoule sous pression constante dans une conduite de résistance périodiquement variable.

L'excitateur de Hertz réalise en électricité le premier moyen employé en Acoustique :

il produit des oscillations amorties qui, nous l'avons vu, sont irrégulières et complexes.

Quant au second moyen, il a son analogue dans deux expériences :

1° Celle de Warren de la Rue qui, ayant soumis un tube à vide à l'action d'une pile de 1080 éléments constata que la veine lumineuse se stratifiait dès qu'on montait un condensateur en dérivation, le circuit étant alors parcouru par un courant ondulé de courte période.

2° Celle de Duddell dans laquelle un arc électrique alimenté par du courant continu et ayant en dérivation une self et un condensateur, produit un courant ondulé de période $t = 2\pi\sqrt{LC}$.

Ces deux expériences réalisent la production de courants de période très courte : on peut donc se baser sur elles pour concevoir un producteur d'ondes permettant d'avoir recours aux effets de résonance. L'organe essentiel de cet appareil consisterait avantageusement en un tube à vide à électrodes de mercure alimenté par du courant continu, avec un condensateur et une self en dérivation (1).

L'appareil servant aux transmissions de télégraphie sans fil peut alors être établi de la façon suivante :

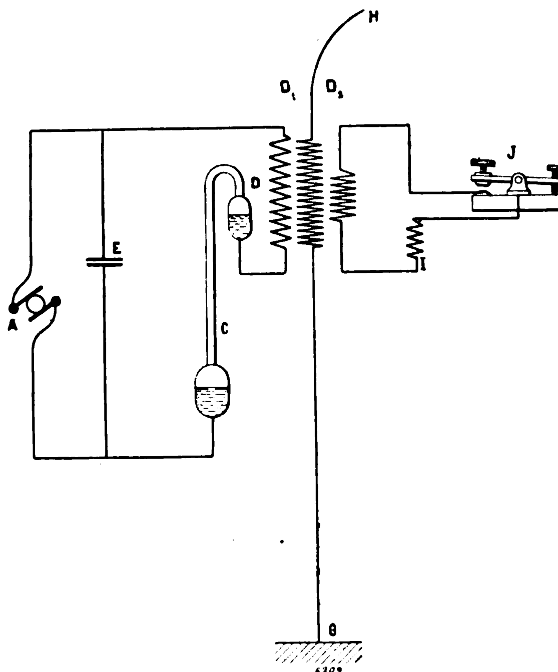


Fig. 1.

Une source A (fig. 1) de courant continu, le tube à vide à électrodes de mercure C et un condensateur E en dérivation, le primaire D d'un transformateur sans fer sont montés en série. Le tube peut être amorcé d'après le système Hewitt au moyen d'un circuit et, au besoin, d'électrodes auxiliaires, ou simplement par une secousse s'il a une forme en U à branches courtes. Le transformateur comporte deux bobines D_1 et D_2 : les extrémités de l'une d'elles, D_1 comprenant un très grand nombre de spires, sont reliées à la terre G et à

(1) Quelques mots sur l'historique des tubes à mercure ne seront pas ici sans intérêt.

En 1882, MM. Jamin et Manœuvrier présentaient à l'Académie des sciences un mémoire sur l'arc électrique entre électrodes dissymétriques et notamment entre charbon et mercure. Ces deux savants concluaient à la possibilité de redresser, par l'emploi d'un tel arc, les courants fournis par un alternateur.

En 1892, M. Arons, dans un compte rendu à la Société de physique de Berlin, décrivait des expériences très complètes effectuées avec un tube en U contenant du mercure et scellé, dans lequel il faisait le vide. L'arc était amorcé en amenant un contact momentané entre les électrodes par une secousse du tube.

En 1902, M. Hewitt réalisait une lampe pratique, formée d'un tube à vide ayant une électrode en fer et l'autre en mercure, dont l'intérêt principal réside dans un ingénieux dispositif d'amorçage. Une forte bobine de self est mise en série avec le tube shunté par une faible résistance et un interrupteur à rupture brusque dans l'huile. Pour l'amorçage on ferme l'interrupteur, puis on l'ouvre brusquement : la variation de flux donne naissance aux bornes du tube à une force électromotrice considérable, qui détermine le passage d'une étincelle.

Cette lampe formant soupape électrique, M. Hewitt eut l'idée, comme MM. Jamin et Manœuvrier, de l'employer à redresser les courants alternatifs, et présenta en janvier 1903 un convertisseur statique transformant des courants triphasés en courant continu.

Dernièrement, M. Hewitt songea à remplacer, dans l'excitateur de Hertz fonctionnant sur courant alternatif, l'éclateur à boules par un tube à électrodes de mercure. Ce dispositif a été décrit dans l'Electrical Rewiew New York, 21 février 1903 sous le nom d'interrupteur à haute fréquence applicable à la télégraphie sans fil.

Enfin MM. Simon et Reich ont signalé récemment (Physikalische Zeitschrift 1er avril) l'emploi de la lampe Hewitt dans le dispositif de Duddell à la place d'un arc ordinaire.

l'antenne de transmission H. Les extrémités de l'autre, D_2, comprenant un petit nombre de tours de gros fil, sont reliées au circuit amortisseur I composé d'une self réglable et d'un interrupteur quelconque dans l'huile J servant aux transmissions. Ce dispositif a pour but de ne pas désamorcer le tube dans les intervalles de traits ou points figurant les signaux, comme cela arriverait si l'interrupteur était branché sur le circuit principal. On peut d'ailleurs employer à cet effet d'autres dispositifs, tels que bobine de self court-circuitée par un interrupteur : de toutes façons il y aura de ce fait une perte d'énergie inévitable.

Un transmetteur de ce genre sera capable de rayonner une grande quantité d'énergie, car les tubes à vapeur de mercure peuvent être construits pour des courants d'une centaine d'ampères, et rien n'empêche d'en mettre plusieurs en parallèle si c'est nécessaire. L'antenne sera le siège de courants induits de période très courte, régulière, et bien déterminée dont on réglera la tension d'après le nombre de spires du transformateur : on aura soin d'accorder la période du circuit primaire et la période propre de l'antenne pour obtenir le maximum d'effet.

Tels sont, rapidement esquissés, les principes d'un nouveau transmetteur permettant de tirer parti des phénomènes de résonance. Il ne faut d'ailleurs pas se dissimuler que la puissance nécessitée par des appareils de ce genre sera considérable, puisqu'ils doivent produire des oscillations entretenues, tandis que les appareils actuels donnent des pointes très aiguës et très espacées [1].

Robert de Valbreuze.

LES RÉGLEMENTATIONS ÉTRANGÈRES

DES ESSAIS DES MACHINES ÉLECTRIQUES

ET DES TRANSFORMATEURS

L'utilité d'une réglementation des essais des machines électriques et des transformateurs n'est plus à contester, depuis qu'à l'exemple des électriciens américains et allemands, les sociétés et chambres syndicales d'électricité de France, de Belgique, d'Angleterre et d'Autriche ont nommé des commissions chargées d'élaborer des projets de règles ou d'instructions pour l'essai du matériel électrique.

Il faut rendre un hommage mérité à l'American Institute of Electrical Engineers qui, ouvrant la voie, publiait en 1899 la première règlementation de ces essais, ainsi qu'au Verband Deutscher Elektrotechniker qui l'a suivi en faisant paraître deux ans après un projet semblable de règles normales. La presse et l'industrie électriques, à part quelques critiques bénignes, firent un bon accueil au règlement américain et quant aux règles du V. D. E. elles sont déjà acceptées ou suivies dans les pays où l'industrie allemande fait davantage sentir son influence : en Russie notamment, le Congrès d'électricité de Moscou en 1902 a recommandé leur application.

L'auteur a pensé qu'une étude comparative de ces deux règlementations serait non seu-

---

(1) La description de ce transmetteur a été donnée par nous le 18 août 1902 : c'est, à notre connaissance la première fois que l'emploi de tubes à électrodes de mercure a été proposé pour les transmissions par ondes électriques.

lement d'actualité, mais aussi de quelque utilité, d'abord pour les sociétés d'électriciens qui y trouveront sur différents points, sinon une base, du moins un guide, en vue d'arriver à une certaine uniformité ; ensuite pour les constructeurs-électriciens qui se trouvent souvent en concurrence avec les maisons allemandes et américaines et ont par suite intérêt à connaître les règles qui servent de base à la construction de leur matériel.

Cette revue a publié en leur temps la traduction du projet primitif de règlement allemand (1), ainsi que du règlement américain de 1899 (2) et les modifications qui ont été apportées à ce dernier au Congrès de Great Barrington en 1902 (3) : j'y renverrai donc le lecteur en me bornant à signaler les *nouvelles règles adoptées depuis ces publications*.

Au sujet de la règlementation allemande, il y a lieu de faire d'abord remarquer qu'elle ne constitue pas une série de prescriptions imposables ou exigibles comme les prescriptions de sûreté relatives aux installations électriques : elle n'est qu'un ensemble de règles normales (*Normalien*) qui doivent simplement servir de guide pour les essais des machines, qui doivent souvent être interprétées de manière différente suivant les conditions du service, qui ne dispensent par suite les acheteurs ni du concours des ingénieurs-conseils, ni de stipulations formelles dans leurs contrats. Vouloir les interpréter autrement ou exiger qu'une machine soit construite « conformément au règlement allemand », ce serait aller à l'encontre des intentions de ceux qui ont élaboré ces règles.

J'ajouterai d'ailleurs que l'Union allemande les a mises prudemment à l'essai pendant deux ans ; ce n'est qu'à l'Assemblée générale de juin dernier qu'elle les a admises définitivement, mais toujours comme règles normales et non comme prescriptions. Pour faciliter leur interprétation et leur application, M. G. Dettmar, le président de la commission, les a fait suivre de *Commentaires* approuvés dans la suite par l'Union et dont la connaissance est indispensable, si l'on veut s'éviter des mécomptes et des discussions; aussi en donnerai-je de nombreux extraits.

Définitions. — La classification des machines et la définition de leurs divers organes ne présentent qu'une importance relative ; c'est pourquoi les règles allemandes n'y consacrent que quelques lignes comme avant-propos. Je signalerai seulement la définition de la *tension étoilée* pour distinguer cette tension de la tension par phase dans les machines à courant triphasé et la substitution aux mots *rotor* et *stator* des termes *induit primaire*, fixe ou tournant, et *induit secondaire* pour les moteurs asynchrones.

Dispositions générales. — Le premier alinéa du paragraphe 1 est à retenir parce qu'on aura fréquemment besoin de s'y référer :

Les dispositions qui suivent ne sont valables qu'en tant qu'elles ne sont pas modifiées par d'autres conditions de fourniture expressément stipulées.

Régime. — Une innovation apportée par les règles normales allemandes a trait aux différents régimes auxquels une machine peut être soumise en pratique. Ces régimes sont désignés sous les noms de service intermittent, momentané et continu (§ 3). Comme puissance normale des machines et des transformateurs, on doit comprendre celle qui peut être appliquée sans que la surélévation de température dépasse les valeurs limites indiquées plus loin, comme suit (§ 10) :

---

(1) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, n° 36, suppl. cxxxix, 14 septembre 1901.

(2) Cf. *ditto* t. XXI, n° 42, page 113, 21 octobre 1899, et l'article de M. C.-F. Guilbert, à propos de ce règlement page 96.

(3) Cf. *ditto*, t. XXXIII, n° 48, page 318, 29 novembre 1902.

1° Service intermittent : pendant une durée de service ininterrompu d'une heure ;

2° Service momentané : pendant une durée de service égale à celle indiquée sur la plaque de régime ;

3° Service continu : pendant une durée de service de dix heures ; pour les transformateurs, pendant une durée de service suffisante pour atteindre une température stationnaire.

La définition du service intermittent et la détermination de la puissance des moteurs construits pour ce service ayant reçu diverses interprétations erronées, les *Commentaires* précisent par une série d'exemples comment on doit appliquer les règles les concernant ([1]).

Surélévation de température. — Cette question est la plus importante, puisque c'est la surélévation de température qui sert de base à la puissance des machines et que leur durée ainsi que leur bonne conservation en dépendent.

Température ambiante. — Les normales allemandes ont adopté 35° C. comme température ambiante et la règlementation américaine 25° C. ; par suite, d'après cette dernière, pour une température de 35° C. de la salle des machines, la surélévation de température observée devra être diminuée d'un demi p. 100 par degré, soit de 5 p. 100 ([2]).

M. Dettmar indique dans ses *Commentaires* que la température ambiante doit être

---

([1]) On a souvent objecté, écrit leur auteur, qu'en ce qui concerne le service intermittent, les exigences sont très variées et par suite on a mis en doute la possibilité de pouvoir établir des bases fixes pour ce service. Cette objection n'est pas fondée. Il ne s'agit ici que de préciser ce que l'on doit entendre par un moteur pour service intermittent et comment on peut vérifier si la puissance annoncée est atteinte, *mais non pas* de déterminer quelle puissance de moteur on doit *employer* pour chaque cas particulier.

Prenons par exemple un moteur auquel, d'après les règles normales relatives au service intermittent, on peut attribuer une puissance de 20 chevaux. Ce moteur aura bien une puissance de 20 chevaux s'il supporte cette charge pendant une heure et que sa température n'excède pas la température ambiante de plus de 50° C (ou de 75° C si les fils sont isolés au coton). Naturellement cela ne veut pas dire que, si l'on a fixé sa puissance à 20 chevaux pour service intermittent, on l'utilisera toujours aussi comme type défini moteur de 20 chevaux. En choisissant le modèle à employer, on doit se conformer aux exigences du service ainsi qu'on le verra par les trois exemples suivants :

1. Soit un moteur employé pour actionner un monte-charges qui est *très souvent* en service. La charge du moteur s'élève toujours, lorsqu'il fonctionne, à 20 chevaux.

2. Soit un moteur employé pour actionner le chariot de levage d'un pont-roulant à trois moteurs. Le chariot n'est en service que *de temps à autre*. La charge du moteur s'élève également lorsqu'il fonctionnne à 20 chevaux.

3. Soit le même cas. Le chariot n'est en service que *très rarement;* il est tout au plus employé pendant cinq minutes puis reste au repos durant plusieurs heures. La charge du moteur s'élève encore, lorsqu'il fonctionne, à 20 chevaux.

Dans chacun des trois cas précédents, il ne sera évidemment pas nécessaire d'employer le même moteur. Le choix de chacun d'eux sera exactement déterminé par un calcul approfondi, qui pourra se faire très facilement, par exemple d'après la méthode d'Oelschläger (Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, n° 20, page 261, 18 mai 1901, où l'on trouvera une analyse très détaillée de cette méthode). Pour le second cas, on prendra un moteur qui, d'après les règles normales, sera désigné comme moteur de 20 chevaux en service intermittent; pour le premier cas, on prendra un moteur plus fort, peut-être de 30 chevaux et pour le troisième un moteur plus faible, par exemple de 12 chevaux; à la livraison ces moteurs seront naturellement désignés comme moteurs de 30, 20 et 12 chevaux *pour service intermittent.*

De même si les trois moteurs précédents doivent être essayés, ils devront évidemment l'être pendant une heure, durée fixée pour ce service et comme moteurs de 30, 20 et 12 chevaux, bien que dans le cas spécial de leur application ils soient employés pour une puissance de 20 chevaux.

([2]) La commission allemande a choisi 35° C comme température ambiante afin que, si la température de la salle atteint une valeur beaucoup plus élevée, on puisse déterminer plus facilement de combien la surélévation de température doit être abaissée. La valeur de la température ambiante ne doit en effet pas être négligée; comme c'est la température *finale* qui intéresse le plus la machine, il en résulte qu'on pourra exiger de celle-ci une plus grande capacité de travail si elle est installée dans un local où la température est modérée que dans une salle à haute température ou sur un navire. De même, on ne pourra pas toujours demander le même service à une génératrice de tramway en été, certains jours où le trafic est très intense, qu'en hiver. De même encore dans les stations centrales établies au centre des villes, où l'on est obligé d'adopter des machines-pilons et d'avoir des salles de machines restreintes et encombrées, on sera obligé de prendre des dynamos plus fortes. En ne se préoccupant pas suffisamment de la valeur que la température ambiante peut atteindre, on risque donc de s'exposer à de graves mécomptes.

mesurée suivant l'axe de la machine et à 1 m au-dessus de celle-ci, lorsqu'il n'existe aucun courant d'air prédominant. Cette distance fut choisie pour éviter que le thermomètre ne soit influencé par le rayonnement direct ; s'il n'est pas possible de s'écarter de 1 m, il est admissible de prendre la température à une distance plus faible, du moment qu'on est sûr d'éviter le rayonnement direct (1).

Valeurs maxima admises. — Les valeurs fixées par le règlement américain sont les suivantes :

a. Circuits inducteurs et induits des machines à collecteurs, redresseurs, machines synchrones, appareils d'induction à organe mobile, enroulements des transformateurs, 50° C. ;

b. Circuits des induits à cage d'écureuil ou en court-circuit, 55° C ;

c. Collecteurs, bagues de frottement, balais, 55° C ;

d. Paliers et autres parties des machines, 40° C ;

e. Fer des transformateurs, 45° C.

Les règles allemandes admettent comme surélévations maxima :

a. Enroulements isolés et bagues de contact :

Isolation au coton, 50° C. ; I. au papier, 60° C. ; I. au mica, à l'amiante et autres matières similaires, 80° C. ;

Pour les enroulements qui restent immobiles, les valeurs précédentes peuvent être augmentées de 10° C. ;

b. Collecteurs, 60° C, ;

c. Fer des génératrices et des moteurs dans lequel les enroulements sont logés : mêmes valeurs que pour l'enroulement.

Ainsi qu'on le voit les surélévations admises par les règles allemandes pour les fils diffèrent suivant leur isolation ; M. Guilbert faisait déjà remarquer en 1899, dans son analyse critique du règlement américain, qu'il n'était pas rationnel d'admettre une surélévation de température uniforme pour toutes les isolations. Les valeurs adoptées par la commission allemande résultent de recherches minutieuses entreprises par M. Dettmar et que son auteur a exposées à l'assemblée générale du V. D. E. de 1900 (2).

Durée de l'essai. — Le règlement américain prescrit de mesurer l'augmentation de température après un fonctionnement d'une durée suffisante pour que celle-ci ait atteint une

(1) La température ambiante varie parfois considérablement au cours de l'essai ; ni les règles normales, ni les *Commentaires* n'indiquent à quel moment elle doit être mesurée. Une solution qui peut convenir, mais sur laquelle toutefois les avis sont partagés, consiste à prendre une moyenne entre la plus haute et la plus basse valeurs relevées soit pendant toute la durée de l'essai, soit pendant les deux ou trois dernières heures.

(2) M. Dettmar enroula 3 échantillons courants de fils de dynamos isolés au coton sur un tuyau de chauffage central soumis journellement pendant douze heures à une température constante de 95° C ; ces fils furent enveloppés d'amiante pour éviter leur refroidissement extérieur. Le premier échantillon, retiré après 100 heures, n'offrait que quelques taches brunes et l'isolant ne fut pas rompu au pliage ; le second, après 500 heures, était aussi bruni et en le pliant l'isolant se fendit à diverses places ; le troisième, soumis pendant 1 000 heures à cette température se comporta au pliage comme le second et les taches brunes étaient seulement plus étendues. On peut donc en conclure qu'une température de 95° C est parfaitement admissible pour les enroulements qui restent immobiles ; pour ceux qui sont sujets à des chocs ou soumis à un mouvement de rotation, on doit considérer cette température comme la plus haute admissible.

M. Dettmar enroula également trois fils de résistance sur un cylindre de porcelaine et les maintint à une température constante de 115° C (en réglant le courant). Le premier, après 200 heures, était légèrement bruni et cassait par places ; le second, après 500 heures, était bruni sur presque toute sa longueur et cassait presque partout ; le troisième, retiré après 1000 heures, était très fortement bruni et même carbonisé à certains endroits. Il en résulte donc qu'une température de 115° C ne peut convenir à une machine électrique.

De semblables essais furent effectués sur des fils isolés au papier ; il en résulta que l'on peut admettre une température de 115° C pour les enroulements isolés au papier qui restent immobiles et de 105 à 110° C au plus pour les enroulements mobiles (*E. T. Z.*, n° 35, page 730, 30 août 1900).

valeur pratiquement constante ; il admet qu'une durée de six à dix-huit heures est nécessaire suivant la construction de l'appareil, mais il permet de réduire cette durée en faisant fonctionner la machine d'abord pendant un certain temps avec une surcharge en courant et en tension.

La commission allemande a fixé la durée de cet essai à dix heures et ce, disent les *Commentaires*, pour éviter des discussions désagréables entre le constructeur et l'acheteur ; en outre, pour les machines à courant continu il serait nécessaire, si aucun nombre d'heures déterminé n'était fixé, d'interrompre l'essai à plusieurs reprises afin de s'assurer quand l'état stationnaire est atteint.

La commission a également rejeté la proposition d'indiquer des durées d'essai différentes suivant la grandeur des machines ; bien qu'une telle manière de voir puisse sembler plus rationnelle, il eut pu en résulter de fréquentes difficultés. Elle a toutefois admis (§ 11) que pour les petites machines, la durée soit réduite lorsqu'il est établi de façon absolument sûre qu'un état stationnaire est atteint plus tôt.

Pour les transformateurs, la durée de l'essai n'a pas été limitée à 10 heures, mais au temps nécessaire pour atteindre une température stationnaire, la détermination de celle-ci étant plus commode et plus sûre que pour les machines.

Méthodes de mesure. — Suivant la réglementation américaine, la surélévation de température des collecteurs, bagues, paliers, fer des transformateurs, doit être mesurée au moyen du thermomètre, tandis que pour tous les circuits électriques indistinctement elle doit être mesurée par augmentation de leur résistance.

Les normales allemandes font une distinction dans le choix de la mesure suivant les enroulements. Le tableau suivant donne, d'après les *Commentaires* de M. Dettmar, les méthodes à appliquer suivant les genres de machines et les enroulements ainsi que les surélévations admises.

GENRES DE MACHINES	CIRCUITS ÉLECTRIQUES	RÈGLES NORMALES ALLEMANDES T. ambiante = 35° C. Surélév. maxim.			RÈGLES NORMALES ALLEMANDES Mesurée par	RÈGLEMENT AMÉRICAIN T. ambiante : 25° C Surélévat. maximum
		C.	P.	M.		
Génératrices à c. continu et commutatrices.	Inducteurs.	60	70	90° C.	Augm. de résist.	50° C. mesurés par augmentation de la résistance
	Induit.	50	60	80° C.	Thermomètre.	
Génératrices à c. alternatif et triphasé et moteurs synchrones à induit *fixe*.	Inducteurs.	50	60	80° C.	Augm. de résist.	
	Induit.	60	70	90° C.	Augm. de résist.	
Génératrices à c. alternatif et triphasé et moteurs synchrones à induit *tournant*.	Inducteurs.	60	70	90° C.	Augm. de résist.	
	Induit.	50	60	80° C.	Thermomètre.	
Moteurs asynchrones à induit primaire *fixe*.	Induit primaire.	60	70	90° C.	Augm. de résist.	
	Induit secondaire.	50	60	80° C.	Thermomètre.	
Moteurs asynchrones à induit primaire *tournant*.	Induit primaire.	50	60	80° C.	Thermomètre.	
	Induit secondaire.	60	70	90° C.	Augm. de résist.	
Transformateurs.	Enr. prim. et second.	60	70	90° C.	Thermomètre.	

Ainsi, pour les bobines inductrices, excitées par courant continu et pour tous les enroulements immobiles des machines, les règles allemandes indiquent de mesurer la surélévation de température en se basant sur l'augmentation de leur résistance, tandis que pour toutes les autres parties des machines et les transformateurs (fer et enroulements), la mesure doit se faire au moyen du thermomètre.

La mesure par thermomètre est évidemment plus simple ; elle ne nécessite aucune connaissance spéciale et peut se faire en toutes circonstances. La mesure basée sur l'augmentation de résistance oblige d'abord à disposer d'appareils de précision, ensuite à connaître exactement le coefficient de température du cuivre ; en outre lorsqu'on l'applique à certains enroulements d'induits, on peut commettre de graves erreurs [1]. Mais ni l'une ni l'autre de ces mesures ne donnent la température maximum : avec la mesure basée sur l'augmentation de la résistance on obtient une valeur moyenne entre les valeurs minimum et maximum, tandis que la mesure par thermomètre donne des valeurs qui se rapprochent davantage de la valeur minimum, notamment pour les inducteurs elles sont presque identiques. Suivant M. Dettmar lui-même, la différence entre les deux méthodes de mesure peut conduire à des erreurs s'élevant à 40 p. 100 pour les induits et à 60 p. 100 pour les inducteurs [2],

Par suite de cet écart entre les résultats donnés par ces deux méthodes, la surélévation de température des enroulements des machines mesurée par thermomètre a reçu des valeurs plus faibles ; M. Dettmar en a d'ailleurs donné toutes les raisons dans ses *Commentaires* dont on trouvera ci-dessous une traduction résumée [3].

---

(1) M. A. Wettler a exposé dans l'*E. T. Z.* (n° 1, p. 8, 2 janvier 1902) les erreurs qui se commettent le plus fréquemment dans la mesure de la résistance de l'induit et a donné une série de formules applicables suivant les divers enroulements.

(2) M. Dettmar donne à l'appui l'exemple suivant. Des mesures de précision furent faites, à une température constante de 20° C, sur une bobine inductrice pourvue d'un enroulement de 130 mm de large sur 50 mm de haut, en fil de 1 mm de diamètre et dont le coefficient de température était de 0,00365 par degré C. L'état stationnaire fut atteint au bout de 9 heures. La surélévation de température mesurée par thermomètre fut trouvée de 22,6° C pour un courant de 1,0 A. et de 42,5° C pour 1,35 A. La résistance de la bobine varia dans le premier cas de 29,68 Ω à 33,80 Ω et dans le second de 29,70 Ω à 36,30 Ω, augmentations qui correspondent à 34,8° C et à 55,6° C respectivement. Bien que le thermomètre fût enveloppé d'une feuille d'étain, on pouvait supposer que les résultats trouvés étaient trop faibles par suite d'une surface de contact trop faible également. On enroula donc une couche de spires au-dessus de la bobine et on mesura la température en déterminant l'augmentation de résistance : on obtint presque la même valeur qu'en appliquant un thermomètre à la surface extérieure de la bobine. C'est pourquoi l'on peut admettre que la surélévation de température maximum à l'intérieur de la bobine est, suivant la forme de celle-ci, 1,5 à 1,8 fois aussi grande que celle mesurée extérieurement par thermomètre. Des essais analogues entrepris sur divers induits tournants, il résulta que la surélévation de température maxima varie de 1,4 à 1,5 fois celle mesurée au thermomètre.

(3) La mesure de la surélévation de température des électros excités par courant continu, écrit l'auteur, se fait de façon très simple en constatant au commencement et à la fin de l'essai de fonctionnement le courant qui traverse les électros et la chute de tension dominante. Pour les induits tournants, le rapport entre la température extérieure (la plus basse) et la température intérieure (la plus haute) est, comme on le sait, en général beaucoup plus faible que pour les électros dont l'enroulement atteint ordinairement une épaisseur bien plus grande. Si l'on mesurait l'induit aussi bien que les inducteurs par la chute de tension et qu'on admit les mêmes limites pour la surélévation de température, on obtiendrait des valeurs soit trop défavorables pour l'induit, soit trop favorables pour les inducteurs. En déterminant pour ces derniers non pas la température extérieure mais la température moyenne, les rapports sont approximativement uniformes, de sorte que pour les mêmes surélévations de température admissibles on obtient approximativement les mêmes températures maxima à l'intérieur.

Ce qui précède s'applique à l'induit des machines à courant continu et à l'induit tournant des machines à courant alternatif. Il en est autrement pour l'induit fixe des machines à courant alternatif. En général celles-ci fonctionnent à de grandes vitesses circonférentielles, vu leur grande multipolarité. Il en résulte qu'à l'encontre des machines à courant continu, ces machines ont un induit de diamètre beaucoup plus grand et sont par suite bien plus étroites. Mais comme les machines à courant alternatif et à courant triphasé sont généralement construites pour de hautes

***

Quant aux transformateurs, la commission allemande, à l'encontre de la commission américaine, a préféré la mesure par thermomètre, d'abord parce que l'on ne dispose pas toujours de courant continu pour mesurer des résistances de certaines valeurs, ensuite parce que dans ces appareils le cuivre est toujours accessible. Les *Commentaires* font au sujet de cette mesure quelques recommandations utiles [1].

Coefficient de température du cuivre. — D'accord avec la réglementation américaine, la commission allemande a adopté comme coefficient de température du cuivre la valeur 0,004. La valeur exacte est donnée, suivant M. Stern, par la formule

$$\frac{0{,}0041}{1 + \text{temp. ambiante} \times 0{,}0041};$$

mais comme au cours des essais la température ambiante peut varier d'une manière assez sensible, l'application de cette formule donnerait lieu à des mécomptes et l'expérience a montré qu'il était plus pratique de prendre uniformément pour ce coefficient la valeur 0,004.

Enroulements en court-circuit. — Le paragraphe 21 des règles allemandes tolère, pour les enroulements qui se trouvent continuellement en court-circuit, une surélévation de température plus élevée que pour les enroulements ordinaires. Cette règle s'applique spécialement aux induits en court-circuit et aux amortisseurs Hutin et Leblanc pour lesquels il serait sans intérêt d'attacher une trop grande importance relativement à l'isolant, ce qui n'apporterait aucune modification dans le fonctionnement. De même le règlement américain admet pour les induits à cage d'écureuil ou en court-circuit une surélévation de 55° C.

Si maintenant l'on compare, à un point de vue général, les valeurs maxima admises par les règles allemandes à celles fixées par le règlement américain, on trouvera les premières très supérieures. Cette différence n'a pas été sans préoccuper certains membres de l'Union allemande qui craignaient surtout que des machines construites d'après les normales allemandes puissent être jugées inférieures à celles construites à l'étranger d'après des règles plus sévères. Au risque d'abuser des citations, je ne puis mieux faire que de résumer la discussion qui s'est élevée à ce sujet à l'assemblée générale de 1902 [2].

---

tensions et que par suite l'isolant entre le cuivre et le fer est beaucoup plus épais, il s'ensuit une plus faible égalisation de la chaleur entre le cuivre et le fer. Mais d'un autre côté, ces machines possédant, ainsi qu'il vient d'être dit, des induits très courts et par suite la plus grande partie du cuivre de l'induit se trouvant elle-même bien ventilée, le cas peut se présenter que le cuivre à la surface soit très froid et que le cuivre logé dans le fer soit relativement chaud, attendu qu'il est bien plus difficile d'obtenir une température égale à travers l'isolant épais que pour les machines à basse tension. Afin d'empêcher que, pour une machine de ce genre, la température à l'intérieur des encoches ne puisse atteindre une valeur dangereuse alors qu'à l'extérieur on trouverait par thermomètre des températures qui ne seraient absolument pas nuisibles, il fut prescrit que la surélévation de température devait être déterminée par l'augmentation de la résistance, comme pour les électros excités par courant continu et pour tous les enroulements immobiles.

[1] Si on applique un thermomètre à mercure à un endroit où les lignes de force se dispersent, ces lignes engendreront des courants dans le mercure et le thermomètre marquera une température plus élevée que celle du transformateur. Dans de tels cas, le thermomètre peut parfaitement servir à indiquer quand l'état stationnaire est atteint ; toutefois on doit alors, après avoir interrompu le courant dans le transformateur, retirer le thermomètre, le transporter à un point où la température est un peu plus basse, puis l'appliquer de nouveau à la même place qu'auparavant pour effectuer cette fois la mesure proprement dite de la surélévation de température. On obtient ainsi une valeur un peu plus faible que précédemment et qui est alors naturellement la valeur exacte. Dans de tels cas et autant que le permettent les températures à mesurer, l'emploi d'un thermomètre à alcool est préférable.

[2] *M. Tischendörfer.* — Il ne suffit pas de prendre en considération l'industrie du pays seule, on doit encore se préoccuper de l'industrie étrangère et c'est à ce point de vue que je parlerai.

En Amérique, il existe, comme on le sait, un excellent règlement qui est en vigueur depuis trois ans. En Angleterre, outre les *Wiring Rules*, la construction des machines est également soumise à certaines prescriptions du *Board of Trade*, mais il n'existe encore aucun règlement. L'idée de faire dépendre l'échauffement admissible de

Surcharge. — *Limite de température.* — Le règlement américain de 1899 admettait un accroissement de la surélévation de température de 15°C. au-dessus de celle spécifiée pour la charge normale; le règlement de 1902, de même que les règles allemandes, n'en admet plus aucun.

Valeurs des surcharges. — Le tableau comparatif ci-dessous donne les valeurs fixées par les deux réglementations.

MACHINES	RÈGL. AMÉRICAIN DE 1899	RÈGL. AMÉRICAIN DE 1902	RÈGLES ALLEMANDES
Génératrices à courant continu .	25 p. 100 — 1/2 heure.	25 p. 100 — 2 heures.	25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 3 minutes.
Génératrices à courants alternatifs.	25 p. 100 — 1/2 heure.	25 p. 100 — 2 heures,	25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 3 minutes. (Fact. de puis. normal)
Moteurs à courant continu, à régime continu.	25 p. 100 — 1/2 heure. 50 p. 100 — 1 minute.	25 p. 100 — 2 heures. 50 p. 100 — 1 minute.	25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 3 minutes.
Moteurs d'induction	25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 1 minute.	25 p. 100 — 2 heures. 50 p. 100 — 1 minute.	25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 3 minutes.
Commutatrices	50 p. 100 — 1/2 heure.	50 p. 100 — 1/2 heure.	25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 3 minutes.
Transformateurs pour éclairage.	25 p. 100 — 1/2 heure.	25 p. 100 — 2 heures.	25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 3 minutes.
Transformateurs alimentant des appareils.	Même surcharge que pour l'appareil récepteur.		25 p. 100 — 1/2 heure. 40 p. 100 — 3 minutes.

l'isolant est bonne. Les Américains admettent une surélévation de 50° C. mesurée non par thermomètre, mais d'après l'augmentation de la résistance, c'est-à-dire qu'ils exigent des machines environ 15 p. 100 plus grandes, plus lourdes et partant plus coûteuses. Si, sur le terrain de la concurrence internationale, une nation admet des valeurs qui conduisent à des machines plus petites, les autres pays en profiteront pour abattre la concurrence. En Angleterre, les ingénieurs-conseils n'admettent qu'une surélévation de 35° C. mesurée par thermomètre, prescription par trop rigoureuse et qui entraîne à des machines 20 à 25 p. 100 plus grandes. Supposons qu'en Autriche, où il est aussi question d'établir des règles normales, on admette des valeurs encore plus élevées : nous dirions que les machines autrichiennes sont inférieures aux nôtres ; c'est pourquoi les Anglais et les Américains pourront soutenir que nos machines ne valent pas les leurs. De même, comme il y a également en Allemagne des constructeurs qui n'admettent pas encore pour leurs machines des températures aussi élevées, je ne vois pas la nécessité de les pousser si loin et, au point de vue de l'exportation, je recommande de prendre en considération les règlements des autres pays.

M. G. Dettmar. — Tout ce que M. Tischendörfer vient de dire a été examiné d'une manière approfondie par la commission. Toutes les grandes firmes allemandes furent consultées par voie de circulaire sur les surélévations proposées par la commission. Sur 9 réponses, 7 se prononcèrent contre toute réduction des valeurs proposées, une fut d'avis de réduire quelques chiffres et une autre de les réduire tous. Il n'y a donc pour l'industrie aucune nécessité d'admettre des valeurs plus faibles et les règles normales sont faites pour l'industrie. En outre, des essais entrepris par la maison Siemens et Halske et par moi-même, il est résulté que les surélévations maxima admises suivant les divers isolants ne présentent aucun danger et offrent toute sécurité. D'ailleurs, il n'est nullement prescrit que la surélévation de température doit atteindre 50° C. mais le § 18 dit clairement qu'*elle ne doit pas dépasser* 50° C. Lorsque les constructeurs allemands concourront à l'étranger, il leur suffira d'accepter les températures prescrites et de bien l'indiquer dans leurs offres de façon à prévenir toute critique erronée. Et en réalité les machines de toutes les grandes firmes allemandes sont calculées de manière à correspondre aux normales américaines. Enfin il n'y a aucune raison d'admettre des valeurs plus faibles : 1° parce que les valeurs proposées ne peuvent nuire ; 2° parce que l'on se créerait des ennuis inutiles si, par imprévu, la construction différait du calcul. Les raisons que donne M. Dettmar pour soutenir son œuvre sont sans doute très plausibles, mais suffiront-elles pour faire admettre les normales allemandes à l'étranger ? Il est permis d'en douter et l'objection d'infériorité relative, posée par M. Tischendörfer, reste entière.

La durée des surcharges imposée par le nouveau règlement américain est maintenant plus longue que celle fixée par les normales allemandes. Par contre, pour les génératrices, il n'impose aucune surcharge instantanée, conformément au vœu exprimé par l'*American Society of Mechanical Engineers* qui craignait que la prescription de surcharges trop élevées ne conduise à des machines à vapeur hors de proportion pour la charge normale et ne nuise à l'économie ([1]).

Dans l'édition de 1902, la commission allemande a ajouté au § 25 :

Pour les génératrices ayant une vitesse angulaire sensiblement constante (qui fonctionnent par suite à la tension normale avec un champ réduit) on se dispensera de l'essai de surcharge. Il en sera de même pour les moteurs qui fonctionnent à champ réduit.

Quand doit-on procéder à l'essai de surcharge ? M. Dettmar dit :

« L'essai de surcharge ne doit pas se faire lorsque la machine a atteint son échauffement » maximum; toutefois il est admissible d'y procéder au commencement de l'essai de fonc- » tionnement. On gagne ainsi du temps et en outre l'état stationnaire de température est » atteint plus rapidement. Naturellement il est aussi admissible d'effectuer l'essai de sur- » charge indépendamment de l'essai de fonctionnement. »

Moteurs de tramways. — Les règles précédentes concernant la puissance, la surélévation de température et la surcharge ne s'appliquent qu'aux génératrices et aux moteurs stationnaires ; pour les moteurs de tramways, elles sont un peu différentes.

L'ancien règlement américain disait : *Pour le cas des moteurs à fonctionnement intermittent (pour tramways, grues, ascenseurs, etc.), les conditions de service sont nécessairement trop variables, pour que la durée de la période de pleine charge puisse être spécifiée par une règle générale.*

Cette manière d'envisager le problème et de laisser le constructeur ou l'acheteur s'inspirer chaque fois des conditions spéciales du service était peut-être très prudente, mais ce n'était pas le résoudre.

C'est ce qu'essaient de faire les règles normales allemandes et la solution qu'elles proposent vaut d'être examinée, si l'on considère les enquêtes et les discussions auxquelles la réglementation des moteurs de tramways a déjà donné lieu, notamment au Congrès de l'Union Internationale des Tramways tenu à Islington l'année dernière (mémoire du Dr Rasch ([2]).

Puissance. — Les règles normales allemandes définissent la puissance normale d'un moteur de tramway : celle qu'il développe, en chevaux, dans la salle d'essai, pendant une heure de marche non interrompue, sans que la surélévation de température dépasse la température ambiante de plus de 70° à 100° C. suivant l'isolement et pour tous les enroulements mobiles ou immobiles ainsi que le fer, 80° C. pour le collecteur et sans que les couvercles, capots, etc., soient ouverts ou que l'on remplace par un refroidissement artificiel le courant d'air créé par le déplacement de la voiture.

De même le nouveau règlement américain, postérieur aux règles allemandes, définit la puissance d'un moteur de tramway celle qui élève sa température de 75° C. au-dessus de l'ambiante (25° C.) après une heure de marche à 500 volts, mais sans couvercle.

Diverses observations ont été faites sur l'indication de la puissance en chevaux pour les

(1) Cf. *The Street Railway Journal*, vol. XIX, n° 1. p. 66, janvier 1902.

(2) Cf. *The Electrician*. vol. XLIX, n° 16. p. 640, 8 août 1902 et *The Street Railway*, vol. XX, n° 2, p. 145, août 1902.

moteurs. Les constructeurs américains qui trouvent déplorable, grossier et vide de sens (1), le terme cheval comme unité de puissance, désignent dans leur règlement la puissance tant électrique que mécanique en kilowatts. Sans vouloir discuter cette opinion, je dirai seulement qu'à mon avis la différence n'a qu'une importance relative et que l'essentiel est que l'on soit bien d'accord pour admettre que la puissance d'un moteur se rapporte non à l'énergie qu'il reçoit, mais à celle qu'il développe, non à celle fournie par la transmission s'il s'agit d'un moteur de tramway, mais à celle recueillie sur son arbre.

Toutefois il serait nécessaire aussi d'indiquer le couple moteur et les règles normales allemandes présentent là une lacune qui les rendent insuffisantes, même dans le cas où des limites admissibles de température sont fixées (2).

L'essai doit être fait non sur la voiture mais aux ateliers et la puissance normale doit être développée pendant une heure. Un essai continu d'une heure, tous les couvercles fermés et sans refroidissement artificiel, sera toujours plus rigoureux qu'une épreuve entreprise dans les conditions normales du service et pendant un même temps; il faut aussi tenir compte que le règlement allemand impose des épreuves de surcharge dont l'une, de 25 p. 100, est applicable pendant une demi-heure, c'est-à-dire pendant un temps égal à la moitié de la durée de l'essai. Mais la durée de cet essai et cette surcharge sont-elles suffisantes « pour faire ressortir l'aptitude du moteur au travail varié qu'il doit pouvoir effectuer » ? Sur ces deux points et ainsi que l'a démontré l'enquête faite par l'Union Internationale des Tramways, les opinions peuvent être très différentes, suivant les circonstances locales ainsi que les conditions spéciales du service et ici encore les règles allemandes ne seront applicables que sous la réserve du § 1 (3).

---

(1) Cf. *The Electrical World and Engineer*, 9 août 1902 : *that deplorable, crude and meaningless unit.*

(2) La plupart des compagnies de tramways consultées par M. Rasch au Congrès d'Islington ont été d'avis que l'acheteur avait intérêt à connaître non-seulement la puissance normale en chevaux ou en kilowatts, mais aussi le couple moteur et la vitesse. Certaines compagnies demandaient même que le constructeur indique l'effort de traction, le diamètre de la jante et que, pour la vitesse, on donne, au lieu du nombre de tours du moteur, la vitesse de la voiture. Il est évident que ces derniers renseignements ne concernent pas le moteur seul et c'est pourquoi M. Rasch a proposé d'indiquer simplement le couple M en kilogrammètres et le nombre de tours par minute N de l'arbre du moteur, la puissance en watts W étant alors donnée, si l'on tient compte du rendement η, par la relation

$$W = \frac{2\pi . 9,81}{\eta . 60} MN = \frac{1,028}{\eta} MN.$$

M. Rasch à la fin de son mémoire émettait le vœu que, si l'expression de la puissance restait fixée d'après les règles allemandes et donnée en chevaux, le constructeur indique pour la demi-charge, la charge normale et une surcharge de 50 p. 100, les différentes valeurs de l'intensité du courant, du couple moteur en kilogrammètres, du nombre de tours par minute et du rendement. Mieux vaudrait alors que toute offre ou toute fourniture de moteurs de tramway soit accompagnée d'un diagramme indiquant toutes les conditions de marche, telles que ceux publiés ici sur les moteurs du Creusot (Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, n° 16, 20 avril 1901) ou dans *L'Électricité à l'Exposition* sur les moteurs Postel-Vinay.

Les ouvrages de MM. Ernest Gérard, Eric Gérard, A. Blondel et Paul Dubois sur la traction électrique donnent sur l'influence du couple moteur des renseignements qui montrent toute l'importance qu'il y aurait d'en tenir compte dans la définition de la puissance.

Le mémoire de M. Macloskie présenté au Congrès des tramways de Paris (Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, n° 39, p. 484, 29 septembre 1900) donne également une règle, dite règle du CAB pour l'appréciation de la puissance des moteurs, mais cette règle dans laquelle les valeurs de A et B sont regardées comme constantes n'est qu'approximative et ne peut s'appliquer que pour la charge normale.

(3) M. Max Müller a donné (Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, n° 24, p. 413, 15 juin 1901) une méthode de calcul des moteurs de tramways de laquelle M. Rasch a déduit la formule suivante pour fixer la durée de l'essai.

Soient T le temps pendant lequel la voiture est hors du dépôt, T' le temps pendant lequel le moteur fonctionne, T — T' le temps du repos et θ la surélévation de température admise en degrés C.; si l'on admet avec M. Max

Surélévation de température. — L'ancien règlement américain indiquait, sans toutefois fixer de limites, que pour les moteurs de tramways, on pouvait admettre une plus grande surélévation que pour les génératrices et les moteurs stationnaires; les règles allemandes admettent de même des valeurs plus élevées, à savoir de 70° à 100° C. suivant l'isolement et de 80° C. pour le collecteur; on remarquera que la surélévation tolérée est la même pour les enroulements mobiles ou immobiles. M. G. Dettmar écrit à ce sujet dans les *Commentaires* :

» Pour les moteurs de tramways, on a admis intentionnellement des valeurs plus éle-
» vées pour la surélévation de température et ce pour deux raisons : en premier lieu, parce
» que l'on doit renoncer aux essais à imiter le refroidissement qui s'opère durant le trajet;
» en second lieu, parce qu'on est obligé, par considération pour l'encombrement aussi bien
» que pour le poids, d'attribuer aux moteurs une puissance plus élevée. On doit ici consen-
» tir à une transaction entre le poids et la durée. Les nombres de degrés indiqués repré-
» sentent les plus hautes valeurs admissibles pour la surélévation de température; on reste
» donc libre, dans le cas où le poids ou la place le permettent, de dimensionner les moteurs
» de manière à ce qu'ils s'échauffent moins et à ce que par suite leur durée soit plus
» grande. »

Ainsi commentées, les hautes valeurs fixées par les règles allemandes pour la surélévation de température des moteurs de tramways s'expliquent mieux. Sans doute si leur application procure l'avantage de réduire le poids et les dimensions du moteur, elle offre aussi l'inconvénient de réduire la surface de refroidissement, par suite d'augmenter les pertes et de diminuer le rendement; mais comme ce dernier, surtout à quelques pour cent près n'est pas toujours le point essentiel à considérer, il y aura chaque fois lieu d'apprécier l'importance de ces deux facteurs : poids et encombrement — rendement et longue durée [1].

Comme on l'a vu plus haut, le nouveau règlement américain fixe la surélévation maximum à 75° C.; il prescrit en outre de faire une étude complète des élévations de température sur le moteur de tramway roulant en palier et en ligne droite et sous des conditions déterminées en ce qui concerne la charge en tonnes par moteur, la vitesse à chaque instant, le nombre d'arrêts par kilomètre, leur durée, l'accélération et le ralentissement [2].

En résumé, si les règles normales allemandes présentent plusieurs lacunes importantes, si leur caractère trop général ne les rend pas, dans leur ensemble, applicables sans réserve aux moteurs de tramways [3], il n'en résulte pas moins qu'il est possible de fixer des règles

---

Müller que le refroidissement du moteur au repos est de 28° C. par heure, on peut prendre pour la durée de l'essai un temps en heures

$$t = \frac{\theta T'}{\theta + 28(T - T')}$$

[1] Il se peut qu'un moteur du type spécial pour *traction* soit employé à d'autres usages, par exemple pour un monte-charges, un pont roulant. Dans ce cas, ainsi que l'indique M. Dettmar, il doit être traité comme moteur stationnaire. Par conséquent les plus hautes températures admissibles seront non celles fixées pour les moteurs de tramways, mais celles indiquées pour les moteurs ordinaires et par suite un moteur de tramway qui, suivant les règles normales, aurait une puissance de 20 chevaux pour une surélévation de 75° C. ne devra être employé comme moteur stationnaire que pour une puissance correspondant à une surélévation de 50° C. si l'isolation est au coton, soit par exemple 16 chevaux.

[2] M. A.-H. Armstrong a donné une étude très complète de cette question au Congrès de l'A. I. E. E, tenu à Great Barrington en 1902, étude qui a été analysée ici (Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, n° 7, p. 255, 14 février 1903) ; on lira aussi avec fruit dans le même numéro les mémoires de MM. Hutchinson et C.-O. Mailloux, p. 247 et 249.

[3] Au Congrès d'Islington certains membres furent d'avis, soit d'admettre le règlement allemand tel quel (MM. Macloskie et Pedriali, de Bruxelles), soit de le compléter, notamment en ce qui concerne le couple-moteur, la

pour ces moteurs en tenant compte dans une certaine mesure des conditions spéciales du service. Il suffit, pour la désignation de la puissance normale, de la rendre plus précise et de la compléter par un diagramme; comme surcharge, d'imposer une valeur en rapport avec celle que, suivant les circonstances locales, le moteur aura à supporter; pour l'essai, au lieu de fixer sa durée invariablement à une heure, d'indiquer pour celle-ci une formule basée sur le temps de service; quant à la surélévation de température, puisqu'aucune des Compagnies de tramways consultées par M. Rasch au Congrès d'Islington n'a fait de réserve sur les valeurs allemandes et leur application, il n'y a aucun inconvénient à les admettre comme valeurs *extrêmes*, ou bien à suivre la nouvelle réglementation américaine.

Isolement. — *Résistance d'isolement.* — La réglementation américaine, tout en n'attachant qu'une importance secondaire à la résistance d'isolement, fixe sa valeur maximum à un mégohm et indique qu'elle doit être mesurée à la tension normale. Les règles allemandes dispensent d'en effectuer la mesure [1].

Résistance à la rupture diélectrique. — Le règlement américain dit également que l'on doit préférer l'essai de la résistance à la rupture pour haute tension ou valeur diélectrique de l'isolant; il consacre de longs détails à la manière d'en effectuer la mesure et donne une table des distances explosibles dans l'air entre pointes d'aiguilles pour diverses tensions sinusoïdales.

Les deux réglementations sont d'accord pour prescrire que cet essai ne soit appliqué qu'à des machines neuves, avant leur mise en service; les *Commentaires* de Dettmar insistent même sur le danger qu'il y aurait de le répéter après un long temps de service, par suite du dépôt de poussières conductrices qui peuvent faire diminuer l'isolement sans toutefois endommager la matière isolante; si donc, après l'expiration de la garantie, il est procédé à de nouveaux essais, on devra se dispenser de l'épreuve de résistance à la rupture, à moins de stipulations formelles à cet égard.

Les règles allemandes prescrivent encore que l'essai doit être effectué à chaud, à la température correspondant à la charge normale, mais elles diffèrent sensiblement de la réglementation américaine, d'abord sur les tensions d'épreuve à appliquer, ensuite sur la durée de l'essai.

Tensions d'essai. — On trouvera réunies dans le tableau ci-dessous les tensions d'essai fixées par les deux réglementations pour les voltages les plus courants.

La réglementation américaine fixe donc comme tensions d'essai, pour les machines à basse tension, des valeurs beaucoup plus élevées que les règles allemandes, mais des deux

---

surcharge et la limitation des étincelles au collecteur; M. F.-W. Egger conseilla d'adopter le règlement américain, les constructeurs américains ayant une plus grande expérience que les constructeurs allemands en fait de tramways. Finalement cette question fut renvoyée à la commission d'étalonnage de l'I. E. E.

[1] La résistance d'isolement des machines et des transformateurs, disent les *Commentaires*, dépend non-seulement de leur état mais aussi de la tension à laquelle cette résistance est mesurée. Il serait donc nécessaire, pour sa mesure, de fixer une tension qui soit dans un certain rapport avec celle de la machine ou du transformateur. Mais pour les machines à haute tension il en résulterait des ennuis extraordinaires, si même la mesure n'était pas rendue complètement impossible. Au reste, la grandeur de la résistance d'isolement, si elle n'est pas mesurée avec une tension au moins égale à la tension normale, ne peut nullement représenter d'une manière exacte l'état de l'isolement. Par exemple, une machine à haute tension peut avoir une résistance d'isolement très élevée si cette résistance est mesurée avec une tension plus faible que la normale et néanmoins l'isolant être percé s'il est soumis à la tension normale ou même à une tension plus élevée. Ces raisons déterminèrent donc la commission à négliger la mesure de la résistance d'isolement et à prescrire un essai purement pratique de la résistance à la rupture de l'isolant, sans établir la valeur de sa grandeur.

TENSIONS NORMALES Volts.	PUISSANCES	TENSIONS D'ÉPREUVE — Règlements américains. 1899 Volts.	TENSIONS D'ÉPREUVE — Règlements américains. 1902 Volts.	TENSIONS D'ÉPREUVE — Règles normales allemandes. Volts.
110	0 à 10 kw	1 000	1 000	220
	10 kw et plus.	1 500	1 500	
220	0 à 10 kw.	1 000	1 000	440
	10 kw et plus.	1 500	1 500	
440	0 à 10 kw.	1 500	1 500	880
	10 kw et plus.	2 000	2 000	
500	0 à 10 kw.	1 500	1 500	1 000
	10 kw et plus.	2 000	2 000	
1 000	quelconque.	3 500	3 500	2 000
2 000	—	5 000	5 000	4 000
3 000	—	6 000	6 000	6 000
5 000	—	10 000	10 000	10 000
10 000	—	20 000	20 000	15 000
15 000	—	30 000	25 000	22 500
20 000	—	40 000	30 000	30 000
30 000	—	60 000	45 000	45 000

côtés ces valeurs ont pour base unique la tension normale de service. Cependant l'on ne contestera pas que la résistance à la rupture entre les enroulements et la masse doive être plus élevée pour un moteur de tramway que pour un moteur de même voltage à régime continu. De même, si pour un alternateur de 1 000 volts une tension d'essai de 2 ou 3 500 volts entre les enroulements et la masse est suffisante, cette tension d'épreuve le sera-t-elle aussi pour mesurer la résistance à la rupture entre l'enroulement primaire et le noyau d'un transformateur de 1 000 volts ? Je dirai qu'en tous cas les constructeurs américains essaient leur matériel sous des tensions bien supérieures à celles prescrites par leur règlement. C'est ainsi qu'à la General Electric C° les moteurs de tramways de 500 volts sont essayés à 5 000 volts alternatifs entre les inducteurs et la masse et à 2 500 volts entre l'enroulement induit et les tôles; c'est ainsi que les transformateurs Wagner de 2 200 volts installés aux Niagara Falls ont été essayés à 10 000 volts pendant quinze minutes; ceux de la Compagnie Westinghouse d'une tension normale de 22 000 volts furent éprouvés à 45 000 pendant une minute entre les enroulements haute et basse tension et entre l'enroulement haute tension et la masse, à 22 500 volts pendant une minute entre l'enroulement basse tension et la masse [1]. De même les transformateurs Packard et Pittsburg de 1 à 50 kilowatts sous 1 100 et 2 200 volts primaires sont essayés *couramment* avec une tension de 10 000 volts entre l'enroulement primaire et le noyau et entre les enroulements; entre l'enroulement secondaire et l'enveloppe la tension d'épreuve appliquée est toutefois moindre, 5 000 volts [2].

Les deux réglementations recommandent de faire les essais sous des tensions dont la forme périodique est sinusoïdale [3].

---

(1) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, n° 51, p. 435, 21 décembre 1901.

(2) Le règlement américain ainsi que les règles allemandes prescrivent, pour les transformateurs, d'appliquer entre l'enroulement secondaire et la masse la même tension d'épreuve qu'entre le primaire et le noyau et entre les enroulements, mais il est évident qu'ici cette prescription n'était pas à observer.

(3) On a admis, écrit M. Dettmar, que pour le courant alternatif la courbe de tension est approximativement la

Enfin, suivant le § 30 des règles allemandes, les tensions d'épreuve fixées sont à multiplier par 0,7 lorsqu'on essaie avec du courant alternatif des enroulements parcourus en service par du courant continu et par 1,4 lorsqu'on essaie avec du courant continu des enroulements soumis en service à du courant alternatif.

Durée de l'essai. — Le règlement américain fixe la durée de l'essai à une minute, les règles allemandes à une demi-heure; ni le premier ni les secondes n'indiquent si la mise sous tension doit être brusque ou progressive [1].

On se trouve donc en présence de deux systèmes d'essai différents : l'un qui fixe pour les basses et moyennes tensions, jusque 1 000 volts, une tension d'essai élevée applicable pendant une minute, l'autre une tension d'épreuve beaucoup plus faible applicable pendant une demi-heure. Pour les hautes tensions, les valeurs d'essai sont sensiblement égales jusque 20 000 volts, égales au-dessus, mais applicables pendant une minute ou une demi-heure suivant l'un ou l'autre règlement.

Les deux questions qui se posent sont donc celles-ci. Pour les basses tensions, est-il préférable en vue du résultat — qui doit être uniquement d'obtenir une ample marge de sécurité au-dessus de la tension normale sans risquer de trop approcher le moment de rupture de l'isolant — d'appliquer une tension élevée pendant une minute seulement ou bien une tension plus faible pendant une demi-heure ? Pour les machines à haute tension, les valeurs d'épreuves prescrites par les deux règlements et qui ont été abaissées dans le règlement américain de 1902 sont-elles suffisamment efficaces pour donner cette marge de sécurité si elles ne sont appliquées que pendant une minute, ou ne risquent-elles pas d'endommager l'isolant sans profit si elles sont appliquées durant une demi-heure, notamment s'il s'agit de transformateurs, par suite de l'influence des fuites magnétiques ?

Ces deux questions ne peuvent être résolues que par de nombreuses expériences et encore les avis peuvent différer, tout autant que sur la marge de sécurité. Néanmoins, ainsi qu'on l'a vu plus haut, il semblerait plus rationnel que ces deux facteurs d'épreuve, tension et durée, soient fixés en tenant compte non-seulement de la tension normale, mais aussi des divers genres de machines, de leurs enroulements et de leurs conditions de service, comme le font les valeurs indiquées pour la surcharge et la surélévation de température; pour les transformateurs il serait également préférable de fixer une tension d'épreuve plus élevée entre les deux enroulements et entre le primaire et le noyau qu'entre le secondaire et la masse.

A l'assemblée générale de cette année, l'Union allemande a décidé d'ajouter aux règles concernant l'isolement le paragraphe suivant:

Les machines et les transformateurs doivent pouvoir supporter pendant cinq minutes une

---

même pour l'essai de la résistance à la rupture diélectrique que celle de la machine à essayer. Comme en général, dans les machines modernes, on évite les courbes pointues ou planes, l'écart qui résultera de la différence éventuelle des courbes de tension ne sera pas considérable, en tant qu'on n'emploiera pas pour produire le courant une autre source que la machine de service. Dans le cas contraire on devra éviter d'employer des machines auxiliaires à courbe plane ou pointue. Mais comme la plupart du temps les machines à courant alternatif sont construites pour de hautes tensions et que la distribution comporte fréquemment des transformateurs, on obtiendra déjà par là une forme curviligne qui ne différera pas considérablement de la sinusoïde.

[1] Suivant M. Woodbury, de l'A. I. E. E., lorsque l'énergie est fournie sous forme de courant alternatif, la tension doit être appliquée progressivement. On fera bien de raccorder d'abord l'enroulement à haute tension du transformateur servant à l'essai, puis de fermer le circuit sur l'enroulement à basse tension en intercalant en série des résistances qui devront être retirées dès qu'on aura obtenu la tension désirée dans l'enroulement à haute tension. La tension maximum ne devrait être maintenue que trois ou quatre secondes. Si l'énergie est fournie sous forme de courant continu, il sera prudent de mettre en série une résistance suffisante pour prévenir un flux anormal de courant dans le cas où l'isolant serait rompu.

surtension égale à 30 p. 100 de la tension normale. Pour les machines, on peut, pendant l'essai de surtension, augmenter le nombre de tours de 15 p. 100 au plus, mais toutefois on ne peut imposer en même temps une surcharge.

Cet essai se fera uniquement pour éprouver la résistance de l'isolant et on devra le commencer à une température telle que la surélévation admissible ne soit pas dépassée.

(*A suivre.*) Louis DRUCBERT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur les machines à vapeur rapides pour la génération de l'électricité, par **T.-H. Minshall**. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, t. CIV, p. 910-913, 30 juin 1903, d'après une communication faite à l'*Institution of Civil Engineers*, de Londres, en décembre 1902.

Les machines à simple effet de Willans et de Westinghouse ont fait faire un grand pas à la question des machines rapides économiques et régulières, puis l'introduction du graissage forcé par Belliss permit de faire marcher les machines à double effet aussi vite que celles à simple effet ; en Angleterre, les machines rapides ont acquis rapidement la faveur des électriciens, au point que les grandes stations en emploient aujourd'hui autant que de machines lentes.

Chaque type de distribution a sa limite de vitesse : environ 120 tours par minute pour les Corliss usuelles à déclic : au delà de 180 tours, il faut employer des tiroirs cylindriques, et la limite de vitesse est rapidement atteinte par la difficulté d'obtenir un bon échappement avec des lumières et des tiroirs de dimensions normales.

Les difficultés provenant des vibrations et des forces d'inertie, en partie vaincues par une application intelligente de la compression, sont très graves pour les machines à simple et double manivelle, mais considérablement atténuées par l'emploi de trois manivelles avec attirails de poids égaux et six ou neuf cylindres en tandem deux à deux. Les triples expansions à trois cylindres et trois manivelles, et même les compounds bien équilibrés, donnent d'excellents résultats. L'équilibrage des machines à triple expansion et trois manivelles, avec attirails de même poids, se fait exactement sans l'emploi de contrepoids ; on en construit jusqu'à 2 000 chevaux ; au delà, il conviendrait d'ajouter un cylindre avec équilibrage analogue à celui de Schlick, permettant de diminuer le poids du grand piston. ce qui compenserait l'encombrement et l'augmentation de dépense de vapeur fréquente dans ce cas.

Jusqu'à une certaine vitesse, les forces d'inertie des pièces en mouvement alternatif, qui sont maxima aux fonds de courses, peuvent devenir avantageuses en augmentant la régularité du couple de rotation, comme dans la machine classique de Porter, où l'on augmentait, à cet effet, la masse du piston ; cette inertie empêche le renversement brusque des efforts aux fonds des courses et l'amène graduellement même sans compression. Dans certains cas, l'accroissement de pression sur la bielle, due à cette inertie, dépasse la pression de la vapeur et l'on arrive dans certaines machines, comme celle de Willans, à éviter entièrement les brusques changements de sens des efforts. Dans les machines à simple effet, c'est possible par la compression seule, mais pas dans les machines à double effet et à condensation. L'inertie des grands tiroirs occasionne souvent des chocs, auxquels on peut remédier par l'emploi de cylindres amortisseurs spéciaux à compression.

Le graissage forcé des portées a singulièrement amélioré les machines rapides à double effet ; mais le graissage des cylindres présente encore de sérieuses difficultés, augmentées d'ailleurs par l'emploi de la vapeur surchauffée. L'emploi d'un mélange de graphite et d'huile, ou même de graphite seul, a donné des résultats contestés ; la présence du graphite augmenterait la condensation initiale sur les parois des cylindres.

Le réglage des machines à grande vitesse est

aussi satisfaisant que celui des machines lentes. Les variations de vitesse peuvent se diviser en variations permanentes, temporaires et instantanées. Les variations permanentes dues à des variations de la charge peuvent être rendues aussi faibles que l'on veut par l'emploi de ressorts de régulateur très sensibles, et en évitant les battements au moyen de dash-pots amortisseurs. Dans certains cas, l'emploi simultané des réglages par étranglement et par détente de la vapeur a donné l'isochronisme sur des machines à grandes vitesses. Les variations temporaires dues à celles de la charge sont atténuées principalement par le volant, et sans difficulté dans les machines rapides. Les variations instantanées, qui se présentent, notamment dans la marche avec alternateurs en parallèle, peuvent s'atténuer mécaniquement par l'emploi de régulateurs sensibles à dash-pot et de volants, et électriquement par l'emploi de conducteurs entre les pièces polaires ou d'un amortisseur analogue à celui de Leblanc, mais au détriment du rendement de la machine. On a souvent exigé, des machines commandant les dynamos, une action du régulateur beaucoup trop sensible, amenant des battements, que l'on fait parfois disparaître en supprimant le régulateur et en agissant sur la prise de vapeur. Néanmoins, pour chaque machine, il y a un déplacement angulaire ou décalage maximum compatible avec la marche en parallèle, et ce décalage, variable entre 2 et 2°,5 est plus grand avec les machines rapides ; la considération de ce décalage intervient autant que celle du réglage sous charges variables dans la détermination des volants. Le tableau ci-dessous donne les masses des volants nécessaires pour maintenir à 1 1/300 la variation cyclique, ou par tour, de la vitesse avec différents types de moteurs d'une puissance électrique de 410 chevaux. Avec un même facteur de sûreté, le poids du volant est beaucoup moindre dans les moteurs à grandes vitesses ; on peut y employer la fonte sans danger, tandis qu'avec les machines lentes il faut avoir recours à des constructions spéciales coûteuses.

Il règne encore une incertitude en ce qui

MACHINES	TOURS par minutes	VARIATION de la puissance p. 100	PUISSANCE du volant nécessaire en mètres-tonnes		POIDS du volant à la jante en négligeant l'action de volant des autres pièces tournantes du moteur	DIAMÈTRE de gyration pour une vitesse du centre de gyration de 24m par sec.
			totale	par cheval électrique		
3 manivelles, double effet, complète sur chaque manivelle	350	3,1	15	0,036	500 kgr	1m,30
3 manivelles : triple expansion : puissances : 6 : 5 : 4.	350	6,6	32	0,080	1 100 —	»
3 manivelles, simple effet, machine complète sur chaque manivelle	350	11,5	60	0,15	2 000 —	»
2 manivelles opposées	350	29,2	145	0,35	5 000 —	»
1 manivelle horizontale	180	34,2	240	0,60	8 000 —	»

concerne le rendement organique des machines à vapeur lentes, et l'on est mieux fixé en ce qui regarde les machines rapides. Le frottement organique tantôt augmente tantôt baisse avec la charge de la machine. Pour les machines lentes le rendement organique varie de 88 à 91 p. 100, non compris la pompe à air. Avec le graissage forcé, les machines à double effet, rapides, à deux et trois cylindres, atteignent des rendements de 92 à 94 p. 100, jusqu'à 96,3 p. 100, pour une machine Belliss essayée par l'auteur, et ce rendement est encore très élevé en faibles charges ; 85 p. 100 par exemple aux trois quarts de charge.

Avec les machines rapides à double effet, la condensation initiale aux cylindres est faible, ainsi que l'avantage des enveloppes de vapeur, mais les avantages de la surchauffe sont plus

considérables que dans les machines lentes. Les causes qui empêchent le rendement des machines rapides d'atteindre ce que promettait leur vitesse sont l'augmentation de l'espace nuisible des cylindres et des distributeurs cylindriques, leurs fuites, et les défauts de cette distribution dans les moteurs à double effet.

Avec les tiroirs cylindriques, l'espace nuisible atteint, en effet souvent 7 p. 100 de la cylindrée ; mais son action est, en partie, atténuée par la compression élevée.

L'économie de la surchauffe, dans les machines rapides, tient, en partie, à ce qu'elle diminue les fuites des tiroirs cylindriques, résultat dû à la dilatation plus grande du métal. La faible surchauffe obtenue en étranglant la prise de vapeur rend la marche plus économique que sans ce laminage ; mais la haute surchauffe ne doit guère être employée qu'avec des cylindres parfaitement rodés. Les réchauffeurs intermédiaires ne paraissent pas donner des bénéfices en rapport avec leur prix.

Les enveloppes de vapeur ne sont guère employées avec la surchauffe. En général, elles sont de peu d'utilité avec les machines rapides, principalement parce que leur chaleur n'a pas le temps de se transmettre à la vapeur dans le cylindre. D'autre part, l'enveloppe de vapeur forme un excellent isolant quand elle est pleine d'air et permet de réchauffer facilement les cylindres à la mise en train, avantages suffisants pour en justifier la dépense.

La condensation est moins avantageuse avec les machines rapides qu'avec les lentes parce que la pression au cylindre d'échappement y est souvent supérieure de 50 à 70 mm à celle même du condenseur, tandis que cette suppression ne dépasse guère 15 mm avec les machines lentes ; ceci tient à l'éloignement des machines rapides de leur condenseur, séparé en raison de la difficulté de faire marcher les pompes à air au delà de 200 à 230 tours par minute. En outre, la résistance des lumières à l'échappement aux grandes vitesses contribue aussi à diminuer le vide au cylindre, principalement en raison de l'obligation de fermer l'échappement assez avant pour assurer une grande compression.

Le réglage par étranglement de la prise de vapeur, plus économique que celui par détente au-dessous d'une certaine charge, suffit pour les allures peu variables de l'éclairage électrique, mais, pour les régimes très variables, comme ceux des machines de traction, le réglage par détente devient nécessaire ; quant à l'économie, les deux réglages, sont presque équivalents.

Avec le réglage par étranglement, on peut, pour les surcharges ou coups de collier, employer une dérivation admettant la vapeur de haute pression aux cylindres de détente, ou augmenter l'admission au petit cylindre.

Avec des pressions d'admissions inférieures à 11 kg : cm², la triple expansion ne présente guère d'avantage sur les machines rapides, tandis que cette économie est considérable pour des pressions plus élevées, en raison de la moindre chute de température par cylindre, de l'utilisation des fuites du second cylindre au troisième, et de la faiblesse des fuites de ce dernier, et ce, sans diminution sensible du rendement organique.

En somme, comme rendement total, les machines rapides, encore légèrement inférieures aux machines lentes en pleine charge, leur sont au moins égales en charges variables.

Les accidents aux machines rapides ne sont guère plus graves ni d'une réparation plus longue que ceux des machines lentes ; les ruptures de volants y sont presque inconnues ; leur entretien est bien moins coûteux ; leur surveillance coûte de 60 à 75 p. 100 de moins ; leur usure n'est guère plus rapide avec le graissage forcé ; les alésages des cylindres n'y sont pas plus fréquents. L'entretien des machines à vapeur rapides de la station électrique de Westminster ne dépasse guère 1,25 fr par cheval et par an ; ce sont des machines à double effet et triple expansion de 1 000 chevaux.

En raison de la perfection exigée pour leur construction, le prix des machines rapides n'est pas aussi différent qu'on le croirait *a priori* de celui des machines lentes, quand on y comprend le service de la condensation, mais on réalise une économie de 30 à 50 p. 100 sur les fondations, et aussi sur les dynamos, principalement les alternateurs. L'économie des bâtiments est aussi très considérable.

Électrode d'accumulateur Thomas-A. Edison. Brevet américain 723 449 du 28 novembre 1902. *Centralblatt f. Accumulatoren-Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 121, 15 mai 1903.

Afin d'éviter le gondolement nuisible qui se produit en pratique sur les petites boîtes, en

particulier sur celles de l'électrode de nickel, on donne à la surface de ces boîtes une forme un peu concave. La fabrication se fait de la façon suivante : la briquette de matière est introduite dans la partie 5 ouverte en forme de boîte et

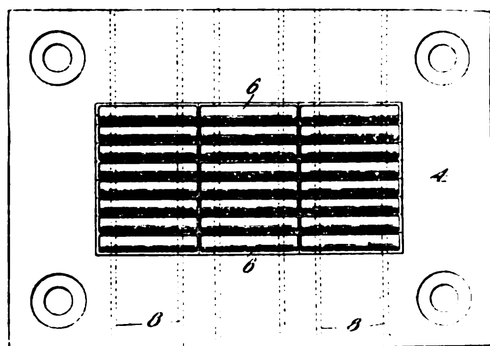


Fig. 1.

dont les bords entourent la briquette. Après cela, la partie 5 (avec sa briquette) est portée dans une pièce 4 également constituée (voir figure 5) et le tout est soumis à l'action d'une

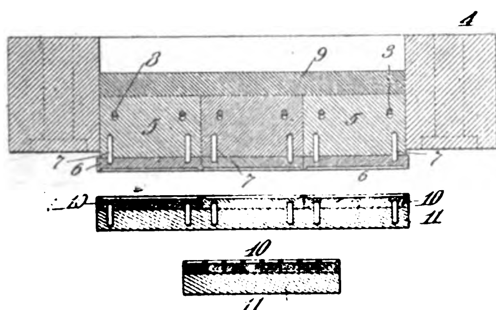


Fig. 2, 3 et 4.

presse appropriée qui donne la forme représentée en figure 6. La petite boîte est alors préparée pour l'introduction dans un alvéole de grille. La forme de la presse est représentée en figures 1, 2, 3 et 4. Dans une pièce 4 sont placés des blocs 5, chacun de ceux-ci portant une matrice 6 consolidée par des crayons 7. Les blocs

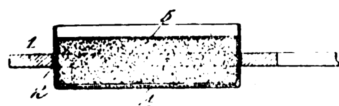


Fig. 5.

sont même suspendus horizontalement sur les crayons, ce qui permet de pouvoir faire varier la grosseur de la briquette. On met au-dessus une couche 9 de caoutchouc ou autre matière semblable. En face de ce poinçon se place la plaque 11, dans laquelle les poinçons 10 sont enfoncés et correspondent aux matrices 6.

Comme le montre la figure 1, ainsi que la section en figure 4, la surface des deux parties consiste en de nombreuses cavités avec fond

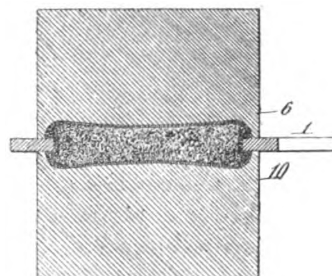


Fig. 6.

convexe dans lesquelles les petites boîtes sont comprimées sous la forme concave désirée. En outre, les surfaces peuvent être encore rainées à la presse, ce qui se transfère également sur les petites boîtes. Le mieux est d'employer encore supplémentairement une presse avec rainures, en considérant qu'il faut d'abord obtenir le partage le plus uniforme possible de la matière des briquettes dans les petites boîtes, ce que les poinçons unis permettent le mieux de réaliser.

L. J.

Electrode Elmer A. Sperry avec enveloppe protectrice. (National Battery Co) Brevet américain 723 326 du 25 mai 1901. *Centralblatt f. Accumulatoren-Elementen-und Accumobilenkunde* t. IV p. 120, 15 mai 1903.

Cette enveloppe consiste en un tissu plus ou moins serré, de préférence en nitrocellulose ou pyroxyline. Cette enveloppe n'est pas disposée

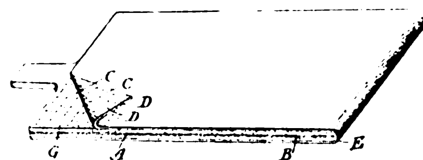


Fig. 1.

comme habituellement autour des plaques terminées; mais elle est comprimée sur ces plaques immédiatement après l'empâtage alors que la

matière active est encore plastique. Elle forme avec la couche superficielle de matière active un tout qui augmente beaucoup la solidité de la plaque. Dans les figures 1 et 2, B représente la matière active, C et D le tissu (brins longitudinaux et transversaux), *b* la couche extérieure de

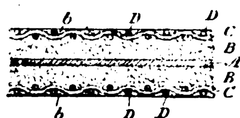


Fig. 2.

matière. La figure 1 montre comment, après quelque temps, le tissu peut-être détaché avec la couche *b*; mais il faut pour cela un effort assez grand. G représente l'impression du tissu dans la matière. La figure 2 se rapporte à une coupe agrandie d'une partie de l'électrode.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Avertisseur d'incendie Siemens et Halske à courant alternatif. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XX, p. 104, 15 février 1903.

Dans la nouvelle disposition Siemens et Halske, les divers avertisseurs sont reliés à un même conducteur, et le courant est envoyé aux appareils par une source unique disposée à la station centrale. Cette source unique permet une disposition avantageuse pour produire un signal de réponse indiquant au poste avertisseur que l'appel a bien eu lieu. A cet effet, les avertisseurs placés aux divers endroits, ainsi que l'annonciateur de la station centrale sont munis d'appareils électromagnétiques, qui peuvent être mis en mouvement synchroniquement sous l'action des impulsions de courant envoyées par la source alternative. Le nombre de ces impulsions et par suite la position de l'appareil qui appelle est déterminé par la longueur caractéristique d'une pièce de contact reliée au mouvement de l'avertisseur et qui varie pour chaque appareil.

La figure 1 représente deux avertisseurs 1 et 2 reliés à la station centrale par une simple ligne. L'avertisseur se compose essentiellement d'un mouvement d'horlogerie électromagnétique, dont l'armature *a* est fixée à un levier angulaire. Le petit bras de ce levier porte un cliquet qui agit sur la roue dentée *b*. Le mouvement de va-et-vient de l'armature *a* fait avancer la roue *b* et par suite le disque de contact *c* qui en est solidaire.

Les disques *c* de tous les avertisseurs sont reliés à la conduite électrique ; ces disques sont munis d'un contact glissant *d* dont la longueur diffère d'un appareil à l'autre et contre lequel frotte la pièce *f* reliée au commutateur *g* qui, dans sa position ordinaire, est ouvert (n° 1).

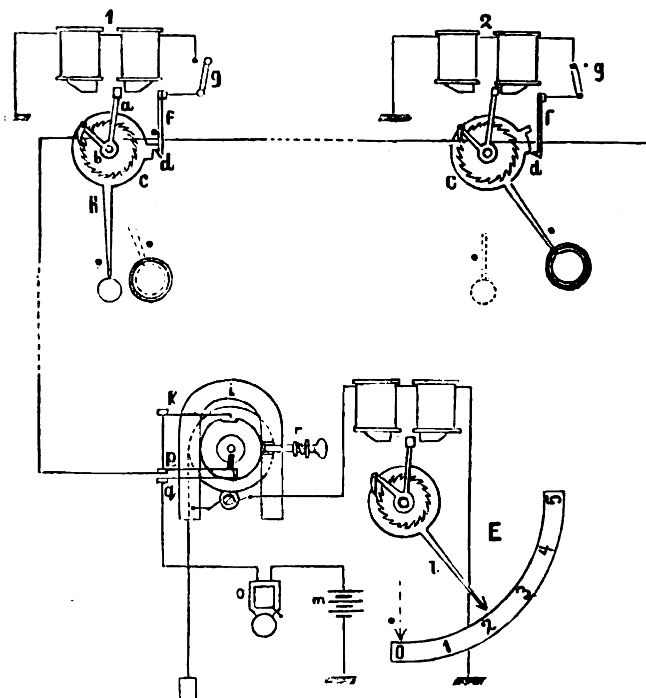


Fig. 1.

Lorsque ce dernier est fermé (n° 2), la pièce *f* est reliée à la terre par l'électro. Un voyant H porté par le dique *c* est visible derrière une ouverture lorsque le mouvement de commande a atteint la position extrême, il montre que l'appel a bien été reçu. L'avertisseur 1 est dans la position de repos, tandis que l'avertisseur 2 est dans la position extrême. L'inducteur *i* à courant alternatif placé à la station centrale est actionné par un poids ; dans la position de repos, il est séparé de la ligne par le ressort K. Le récepteur E ne diffère des avertisseurs que par la suppression du disque de contact ; en outre, l'aiguille *l*, solidaire de la roue dentée, se déplace devant un arc gradué, et la position qu'elle occupe est fixée par le nombre d'impulsions de courant caractéristique de chaque avertisseur.

Le fonctionnement du système est le suivant :

On veut donner le signal à l'appareil n° 2, on ferme l'interrupteur *g*. Cette manœuvre a pour effet de fermer le circuit d'une batterie *m* sur une sonnerie *o*, les deux ressorts de contacts *p* et *q*, la ligne de communication, l'électro n° 2 et la terre. Dès que la sonnerie retentit, l'inducteur *i* est déclenché soit automatiquement, soit par l'employé qui écarte le cran d'arrêt *r*; ceci a pour effet d'interrompre le circuit de la batterie en *p* et *q* et de fermer la ligne par le ressort K sur l'inducteur *i*, l'électro E et la terre. Les impulsions produites par cet inducteur traversent les électros E et 2, ce qui anime les deux appareils d'un mouvement synchrone. Ce mouvement dure tant que la pièce *f* porte contre le contact *d* du disque *c*; dès que *f* a quitté ce contact, le circuit est interrompu et les appareils s'arrêtent.

La longueur du contact *d* est caractéristique de l'avertisseur, et plus elle est grande, plus l'aiguille *l* avance sur l'échelle ; la division où elle s'arrête indique donc le numéro de l'avertisseur en action.

Pour ramener le système à l'état primitif, on remonte l'inducteur *i* et on le fixe par l'arrêt *r*, on ouvre l'interrupteur *g*, simultanément les disques reviennent au zéro.

G.

TÉLÉGRAPHIE

Sur une modification au clavier de l'appareil télégraphique de Hughes, par **P. Genuardi**. *L'Elettricista*, t. XII, p. 96, avril 1903.

On emploie en Italie depuis quelque temps dans les bureaux télégraphiques de bourse,

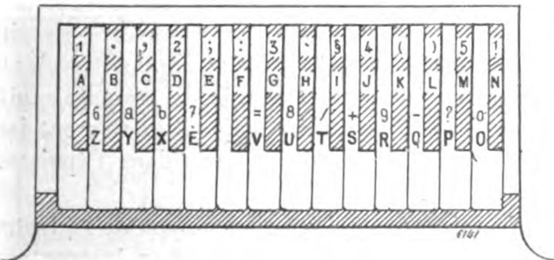


Fig. 1. — Modification au clavier de l'appareil Hughes.

l'appareil Hughes dont le clavier et par suite la roue des types ont été légèrement modifiés dans la disposition des chiffres pour faciliter la transmission des dépèches de bourse et des télégrammes commerciaux et chiffrés. Cette modification consiste à disposer en série croissante les neuf chiffres et le zéro en deux groupes séparés, de chacun cinq chiffres, situés un à gauche sur les cinq premières touches noires et l'autre, à droite sur les cinq dernières dans le but de transmettre les dépêches avec un plus grand nombre de doubles chiffres que cela n'est possible avec le système ordinaire.

M. Genuardi propose un autre mode de disposition qui augmente notablement le nombre de ces doubles chiffres et qui consiste à distribuer uniformément sur le clavier (fig. 1) à partir de la gauche et par suite aussi sur la roue des types les dix chiffres 1.2.3.....9.0. avec un intervalle de deux touches comme le représente la figure 1 en intercalant entre eux les autres lignes d'interruption.

G.

ÉCLAIRAGE

L'éclairage électrique de la basilique du Vatican, par **Marchesini**. *L'Elettricista*, t. XII, p. 95, avril 1903.

Dès 1892 la cathédrale de Vienne fut éclairée à l'électricité au moyen de 12 lampes à arc de 1 000 bougies. L'éclairage électrique de Notre-Dame à Paris a été décidé récemment et la dépense prévue est de 500 000 fr. Nombre d'églises de moindre importance jouissent déjà de cet avantage, et en effet, même si l'on laisse de côté les chances d'incendie qui sont les mêmes avec le gaz et avec les bougies, mais qui sont bien diminuées par l'électricité, il y aura toujours contre l'emploi du gaz, l'effet décoratif; il est évident que les canalisations de gaz ne peuvent que frapper désagréablement la vue tandis que les canalisations électriques peuvent être suffisamment masquées pour n'altérer en rien la décoration et l'aspect des monuments.

Ces raisons jointes à la nécessité d'améliorer et de régulariser l'éclairage de la basilique de Saint-Pierre ont fait adopter l'électricité depuis un an environ.

Le courant électrique est pris sur la distribution d'éclairage de la ville. La canalisation primaire est formée de câbles concentriques Siemens, recevant le courant alternatif à 2 000 volts; elle pénètre par la place et la porte Sainte-

Marthe à gauche de la basilique dans une petite chambre située à la base de l'escalier en limaçon (fig. 1). Là se trouvent deux coupe-circuit primaires, le câble monte ensuite verticalement dans l'escalier et arrive à la hauteur de la grande corniche interne de la basilique. A ce niveau, sur le grand arc de Saint-Simon est un emplacement spacieux où sont disposés deux transformateurs de 100 kilowatts chacun qui abaissent la tension à 110 volts.

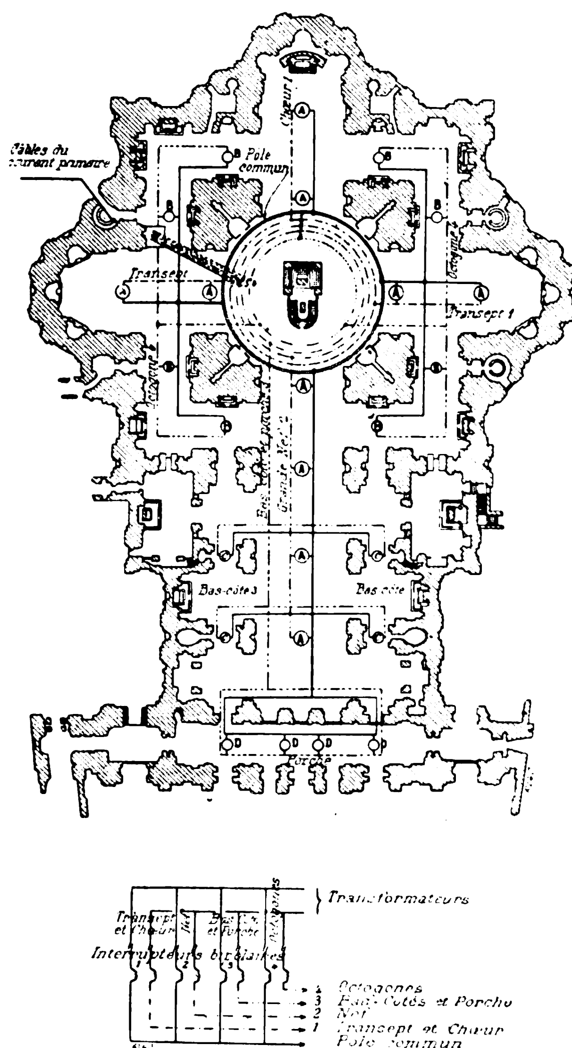


Fig. 1.

Extérieurement à la chambre des transformateurs, se trouve le tableau des interrupteurs principaux du courant secondaire, par lesquels on commande toute l'installation électrique. Le schéma de ce tableau est représenté à part sur la figure. Ce tableau est formé d'une robuste plaque de marbre sur laquelle sont fixés 4 interrupteurs bipolaires, d'où partent 4 lignes munies de coupe-circuit. La bipolarité n'est qu'apparente pour chaque ligne simple comme le montre le schéma, car si l'un des interrupteurs est fermé, les autres perdent leur bipolarité puisque le pôle commun qui appartient à chaque ligne est fermé.

Le pôle commun est représenté sur la figure par un trait continu, les lignes de distribution par des lignes pointillées 1, 2, 3 et 4.

L'installation a été fortement facilitée par ce fait qu'il existe dans la coupole de nombreux corridors et escaliers internes, de sorte que tous les conducteurs sont disposés soit à l'intérieur du monument soit dans les galeries; ceci facilite la surveillance et la décoration n'a subi aucune atteinte.

La colonne montante composée de cinq tresses, après avoir quitté le tableau, arrive au sommet de l'arche de Saint-Simon, contourne extérieurement la corniche de la coupole en étant renfermée dans 5 tubes de plomb, puis pénètre par le portique de Saint-Simon dans le corridor qui entoure la base de la coupole.

Dans ce corridor, disposés vers le haut, sont 4 câbles adossés à la paroi vers le centre et deux autres destinés au pôle commun et fixés à la paroi périphérique. L'ensemble forme un anneau fermé qui entoure la base de la coupole.

C'est de cet anneau que se détachent les quatre lignes d'alimentation, pour chacune desquelles 2 câbles sous plomb sortent de nouveau de la coupole, contournent la corniche et descendent au niveau de la voûte de la nef.

Pour isoler les parties de câble qui resteraient à découvert, on a établi sur le sommet de la nef une petite tranchée divisée en deux parties pour séparer les deux câbles et recouverte ensuite. Les câbles sont fixés sur des supports isolés et chaque dérivation est munie de coupe-circuit ; les lignes d'alimentation entrent finalement dans l'église par des trous pratiqués dans l'épaisseur de la voûte.

L'éclairage est obtenu au moyen de 24 lustres et 2 lampes pour la coupole. Les lustres sont distribués de la façon suivante : 10 grands A ont 41 lampes de 25 bougies et sont répartis sur les voûtes de la nef qui forment la croix ; 8 lustres B ont 13 lampes de 11 bougies et sont situés

au centre des grandes arcades ou des octogones; les 4 lustres C ont 11 lampes de 16 bougies et sont placés dans les bas-côtés ; enfin 4 lustres D avec 17 lampes de 16 bougies servent pour l'éclairage du porche.

Il y a donc en tout 628 lampes représentant 14 000 bougies, ce qui n'est pas excessif pour les proportions grandioses du monument; mais étant donné le style l'éclairage est suffisant et contribue au caractère imposant de l'ensemble.

On pourrait d'ailleurs facilement augmenter la diffusion de la lumière en augmentant le nombre des lustres et diminuant la puissance des lampes. On a d'ailleurs la possibilité d'accroître l'éclairage, car l'installation est faite pour 80 000 bougies.

L'éclairage intérieur de la coupole a été laissé de côté, mais sa réalisation n'offre aucune particularité.

Toutes les précautions ont été prises pour assurer la stabilité et la sécurité de l'installation. La division en quatre réseaux distincts a permis un parfait équilibre dans la distribution du courant, de sorte que la tension est sensiblement la même au centre et aux extrémités du monument, ce qui est d'autant plus appréciable que les lignes ont un développement de 3 km et que le fil de cuivre nu qui sert à former les câbles représente une longueur de 25 km.

Dans la partie extérieure des lignes, les câbles de fils découverts ne sont pas au voisinage de substances combustibles, de sorte qu'un échauffement accidentel ne peut causer aucun danger. Les enveloppes de plomb sont en communication avec les parafoudres de la basilique, ce qui met l'installation à l'abri des décharges atmosphériques. G.

MESURES

Sur un nouvel interrupteur pour la détermination des conductibilités, par **C.-W. Kanolt.** (*Zeitsc. für Elektroch.*, t. IX, p. 415, 14 mai 1903.

Dans l'emploi de la méthode de Kohlrausch pour la mesure des conductibilités des électrolytes, un bon interrupteur ne doit nécessiter aucune surveillance et doit avoir une fréquence réglable à volonté. Les interrupteurs à ressorts d'acier ou à fils d'acier mis en mouvement par un aimant ne répondent pas complètement à ces desiderata. Une des difficultés réside dans l'état magnétique que prend l'acier.

L'auteur décrit un interrupteur qui donne de meilleurs résultats.

Il est composé d'un conducteur de 15 à 18 cm de longueur tendu entre deux montants AA (fig. 1). Dans son milieu, ce fil porte une petite tige conductrice verticale qui vient en contact avec la surface du mercure contenu en B. Le fil est mis en mouvement à l'aide d'un jet d'air

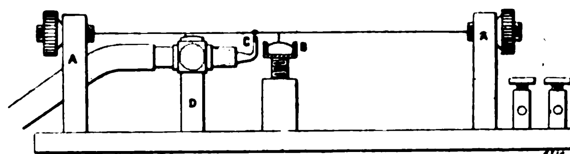


Fig. 1.

soufflé par une pointe fine perforée C. Le courant qui est interrompu arrive d'un côté par le fil AB et part par le godet de mercure. Le fil utilisé par l'auteur est un fil d'argent de 0,25 mm d'épaisseur. Sa tension peut être facilement réglée par deux vis à ses extrémités. Le fil plongeur est en platine et a environ 5 mm de longueur. Le godet de mercure est porté par une vis qui permet de le régler à la hauteur désirée. Le mercure doit être absolument net et exempt de poussière. Aussi le godet est-il fermé par un couvercle muni d'un petit trou pour laisser passer la tige.

La pointe de soufflage consiste en un tube de verre effilé placé à l'extrémité d'un tube de laiton fixé sur le montant D. L'autre extrémité du tube de laiton est reliée à un tuyau de caoutchouc qui amène l'air. Le diamètre de l'ouverture du tube effilé est de 0,3 à 0,5 mm au maximum. Sur le conducteur AA, on soude une petite boule ayant une épaisseur à peu près double de celle du fil. Le courant d'air est dirigé contre cette boule. Celle-ci doit être placée aussi près que possible du godet de mercure afin de ne former aucun nœud de vibration sur la longueur du fil en mouvement.

Le jet d'air doit être dirigé juste sous la boule, mais un peu sur le côté. L'interrupteur travaille dans de bonnes conditions avec une pression d'air de un tiers à un demi atmosphère.

Lorsqu'on a réglé une fois cet interrupteur, il travaille absolument uniformément sans qu'on ait à s'en occuper. Avec l'appareil représenté ici, il est possible de faire varier la fréquence de 20 à 800 vibrations par seconde. L. J.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 15 juin 1903

Conditions qui déterminent le sens et la grandeur de l'électrisation par contact, par **Jean Perrin**, *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1441-1443.

1. Dans sa note précédente, l'auteur montrait comment l'osmose électrique donne un moyen commode et général pour étudier l'électrisation par contact au sein d'un liquide, et concluait que cette osmose ne se produit aisément que pour un liquide à grande constante diélectrique, et qui, par suite, est un bon ionisant.

Ayant depuis étudié l'osmose électrique dans l'eau pure ou additionnée de quantités connues de divers corps, il a constaté qu'avec les cloisons jusqu'ici employées et l'eau distillée de laboratoire on a toujours une osmose dans le sens du courant, mais qu'on obtient facilement une osmose de sens inverse dans certaines conditions : une cloison de carbonate de baryum, par exemple, provoque une osmose énergique en sens inverse du courant.

2. Mais il constata aussi certains résultats irréguliers où, pour des conditions qui semblaient identiques, on observait l'osmose tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre; il fut ainsi conduit à penser que le signe et la grandeur de l'osmose pouvaient être déterminés par des traces infinitésimales de certains ions. Cette hypothèse a été pleinement vérifiée.

L'action des acides et des bases, c'est-à-dire des ions H^+ et OH^- est extraordinairement grande, et l'osmose indique leur présence avec une sensibilité qui peut atteindre ou dépasser celle des indicateurs colorés. Telle matière électriquement neutre dans l'eau neutre se chargera positivement dans une eau contenant une molécule d'acide pour cinq millions de molécules d'eau, c'est-à-dire dans une eau plus pure que l'eau distillée ordinaire. La même matière se chargera négativement dans de l'eau tout aussi faiblement basique [1].

3. Ainsi, on peut à volonté, par une trace d'acide ou de base, renverser le signe de la charge d'un corps plongé dans l'eau. Voici quelques exemples :

Le chlorure de chrome, l'oxyde de cobalt, l'oxyde de zinc, le sulfure de zinc, sont faiblement positifs dans l'eau neutre, fortement positifs dans l'eau acidulée, fortement négatifs dans l'eau basique. L'oxyde de nickel, positif dans l'eau acide, est faiblement négatif dans l'eau neutre, fortement négatif dans l'eau basique. L'oxyde de cuivre et le carbonate de zinc sont neutres dans l'eau neutre, positifs dans l'eau acide, négatifs dans l'eau basique [1].

4. M. Perrin a particulièrement étudié l'osmose au travers du chlorure violet de chrome, qui est remarquablement inaltérable et insoluble en l'absence de substances réductrices. La teneur des électrolytes ajoutés à l'eau n'a pas dépassé 1 molécule-gramme pour 100 litres. Voici les résultats relatifs aux électrolytes formés d'ions *monovalents :*

Les acides chlorhydrique, bromhydrique, nitrique, mono- et trichloracétique agissent de même, rendant positive la surface de chlorure ; leur action appréciable déjà pour 1 molécule-gramme en 10^6 litres d'eau grandit avec la teneur, mais de plus en plus lentement, en sorte que l'on ne gagne pas grand-chose en mettant 1 molécule-gramme en 100 litres au lieu de la mettre en 10 000. Ce résultat paraît général : ce sont les premières traces des ions ajoutés qui comptent.

L'acide acétique agit dans le même sens, mais une teneur plus forte est nécessaire pour atteindre au même résultat. Cela correspond à sa très faible dissociation en ions (Ostwald).

La potasse, la soude, la lithine, l'ammoniaque agissent en sens inverse, rendant la paroi fortement négative.

[1] A ce propos, l'acide carbonique de l'atmosphère, qui souille rapidement l'eau distillée, en la rendant faiblement acide, gêne beaucoup les expériences et rend l'eau positive en des cas où elle serait neutre ou négative. Il est donc nécessaire d'éliminer cette influence.

[1] On rapprochera utilement ces résultats de ceux très importants qu'a obtenus Hardy, en étudiant l'influence que des traces d'acide ou de base exercent sur les solutions colloïdales.

Les chlorures, bromures et iodures de sodium et de potassium agissent peu.

Le nitrate d'argent et le chlorate d'argent agissent à peu près aussi fortement que les acides, en rendant la paroi positive.

Enfin le nitrate de thallium agit nettement, moins toutefois que le nitrate d'argent.

5. En résumé, on doit considérer comme agissant peu, d'une part les ions positifs Na^+, K^+, Li^+, AzH_4^+ et d'autre part les ions négatifs Cl^-, Br^-, I^-, NO_3^-, ClO_3^-, $CH_3CO_2^-$, $CH_2ClCO_2^-$, $CCl_3CO_2^-$.

On doit considérer comme agissant beaucoup les ions positifs H^+, Ag^+ et à un moindre degré Tl^+ qui chargent positivement la paroi et, d'autre part, l'ion négatif OH^- qui la charge négativement (1).

Séance du 22 juin 1903

Piles à deux liquides : forces électromotrices; condensations; transformations d'énergie aux électrodes, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1497-1505.

I. — « Je me propose de tirer de mes expériences sur les piles à deux liquides certaines notions générales, que je n'ai pas eu occasion jusqu'ici d'envisager séparément. J'examinerai d'abord la force électromotrice développée au contact de deux liquides ; spécialement lorsque cette force est susceptible de produire un courant continu produisant une électrolyse extérieure.

« Soit donc un système d'éléments de pile constitués par la réaction de deux liquides dégageant une certaine quantité de chaleur, telles que la réaction d'un acide sur une base soluble ; la réaction de deux sels produirait un sel double stable en présence de l'eau, soit le chlorure de mercure agissant sur le cyanure de potassium ; ou bien encore la réaction d'un corps oxydant, celle de l'eau oxygénée sur un corps oxydable, sulfate ferreux, ou pyrogallol ; employons d'ailleurs des électrodes métalliques inaltérables, tels que le platine, le palladium, l'or, l'argent, en général, et, dans des conditions plus particulières, le mercure, le cuivre et même le zinc. Avec de telles piles, j'ai démontré qu'il se produit un courant continu, possédant une intensité suffisante pour produire, également d'une façon continue, l'électrolyse de l'eau dans un voltamètre extérieur. L'énergie voltaïque qui alimente ce travail électrolytique est nécessairement fournie par la transformation de l'énergie chimique développée au contact des deux liquides, c'est-à-dire en dehors des électrodes métalliques.

« Au contact de ces liquides, il se développe donc une force électromotrice, possédant une valeur propre de grandeur notable. C'est l'ordre de grandeur de cette force électromotrice que je vais rechercher. Pour préciser, je rappelerai la relation que j'ai établie par une multitude d'expériences entre les forces électromotrices des trois systèmes suivants, résultant de l'action réciproque de deux liquides. Soient le liquide A et le liquide B, constituant l'élément de pile $A + B$, avec force électromotrice E ; le liquide A et le liquide AB (mélange préalable de A et de B) avec force électromotrice ε_1 ; enfin le liquide B et le liquide AB, avec force électromotrice ε_2.

« On a, dans tous les cas : $E = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$.

« J'ai démontré cette relation d'une manière générale entre les trois systèmes précédents formés des mêmes liquides, compris successivement entre deux électrodes de métaux différents, identiques d'ailleurs au deux pôles, tels que platine, palladium, mercure, argent, cuivre, étain, plomb, cadmium, nickel, zinc, fer, aluminium, etc. (1). Il est dès lors permis d'admettre que la relation ci-dessus ne dépend pas de la nature des électrodes métalliques et qu'elle existe entre les forces électromotrices développées au contact des deux liquides eux-mêmes. Elle doit y posséder une valeur constante pour deux liquides donnés ; valeur qui se modifie d'une façon différente suivant la nature des électrodes métalliques, entre lesquelles on mesure les forces électromotrices.

« La valeur constante de la force E, ainsi envisagée comme indépendante des électrodes métalliques et plus particulièrement dans les piles reposant sur une réaction chimique exothermique, doit être regardée comme à peu près proportionnelle à la chaleur dégagée par

(1) Il peut être utile de se rappeler à ce propos la grande sensibilité de la matière vivante vis-à-vis des acides, des bases, des sels d'argent et de thallium.

(1) *Comptes rendus* du 11 mai 1903, t. CXXXVI, p. 1112.

cette réaction ; c'est-à-dire voisine d'un demi-volt, lorsque les deux liquides réagissant sont un acide fort et une base forte, formant un sel soluble en solutions étendues. La réaction chimique dégage alors de 13 calories à 15 calories : or le volt équivaut, comme on sait, à environ 24 calories.

« Si j'adopte cette relation, c'est que j'ai prouvé qu'elle peut être admise, approximativement, pour l'énergie disponible ; du moins toutes les fois qu'une réaction chimique se manifeste dans un système, sans y produire ni variation dans le nombre des molécules (dissociation ou décomposition simple, polymérie), ni changement d'état physique (vaporisation ou dégagement de gaz, fusion ou solidification, précipitation, cristallisation) ; ou bien encore lorsque de tels changements sont compensés entre l'état initial et l'état final du système. Dans ces conditions, en effet, j'ai établi d'une manière générale que les variations d'entropie, accomplies par l'effet de la transformation à température et pression constantes, sont aussi à peu près compensées. On sait qne les mesures relatives à la force électromotrice de l'élément Daniell et analogues sont conformes à cette manière de voir.

En résumé, la force électromotrice développée au contact de deux liquides qui réagissent avec un dégagement de chaleur notable, et dont la réaction satisfait aux conditions précédentes, peut être regardée comme à peu près proportionnelle à cette quantité de chaleur. Dès lors les différences reconnues dans les expériences faites avec le concours d'électrodes métalliques sont attribuables aux transformations d'énergie produites par le passage du courant à travers ces électrodes. Je reviendrai tout à l'heure sur ce dernier point.

II.— Capacités électriques et condensations. — « Examinons maintenant une question, connexe avec les précédentes et qu'il est intéressant de discuter pour bien se rendre compte de la marche des éléments de pile à deux liquides et des variations plus ou moins rapides, constatées dans leur potentiel et leur force électromotrice.

» Je demande la permission de rappeler, au cours de cette discussion, quelques observations consignées brièvement dans mes précédents Mémoires. Il s'agit des variations de potentiel observables, soit pendant la conservation des éléments de pile, sans fermeture du circuit ; soit pendant la fermeture du circuit sur la pile elle-même (avec une résistance interposée) ou sur un voltamètre, c'est-à-dire sur un électrolyte extérieur. Ces variations sont attribuables à deux causes : à une condensation dépendant à la fois de la vitesse des réactions et de la capacité électrique des systèmes ; et au changement progressif, fort lent en général, de composition des deux liquides qui réagissent l'un sur l'autre, notamment lorsqu'ils sont mis en rapport par l'intermédiaire d'une paroi poreuse.

» Attachons-nous d'abord à la condensation.

» L'existence d'une condensation électrique est facile à concevoir, lorsqu'on opère avec des éléments de pile soigneusement isolés, tels que ceux que je mets en œuvre actuellement. Cette condensation est déterminée à la fois par la capacité électrique des éloctrodes métalliques, avec couches doubles ; par celle des vases poreux employés dans la plupart des cas et aux parois desquels a lieu la réaction chimique ; enfin par la capacité électrique du contenu des vases renfermant les deux liquides réagissants, en admettant d'ailleurs l'existence de couches doubles à la surface de séparation des deux liquides.

» Soient donc deux liquides, supposés tels qu'ils réagissent avec dégagement de chaleur : ce sont ceux que j'étudie en ce moment.

» Une fois les liquides mis en contact, même sans que le circuit soit fermé, il se produit une certaine dose d'électricité qui tend à charger tout le système jusqu'à une limite déterminée. A cette limite répond le potentiel, observable dans l'instant où l'on ferme le circuit entre les électrodes immergées au sein des deux liquides. De là résulte la nécessité d'attendre quelque temps sans fermer le circuit, après avoir rempli les deux vases, avant de mesurer la force électromotrice ; cette force étant variable au premier moment, et n'atteignant une valeur définie qu'au bout d'un certain temps.

» A circuit ouvert, ce temps dépend, d'une part, de la quantité d'électricité développée au sein des liquides ; quantité déterminée par la vitesse élémentaire de la réaction chimique, et par les quantités de matières mélangées à chaque instant. Il en est ainsi spécialement lorsque le mélange s'opère par l'intermédiaire d'une paroi poreuse et par l'effet de la diffusion et osmose

consécutives, de part et d'autre de cette paroi, des deux liquides et de leur combinaison.

» Il dépend d'autre part de la déperdition inévitable d'électricité, en raison de l'isolement imparfait des vases, lequel n'est jamais absolu ; de telle sorte que le potentiel observable sera toujours inférieur au potentiel théorique ; la différence pouvant être faible, si l'isolement est bon ; ou bien au contraire considérable : en particulier lorsque l'atmosphère est saturée d'humidité et la paroi des vases hygrométrique. J'ai cité des exemples caractéristiques à cet égard [1].

» Ce n'est pas tout ; dans les conditions ci-dessus et en raison de la déperdition de l'électricité par les parois des vases et par le contact de l'atmosphère ambiante, il tend à se produire une certaine opposition électrique entre les deux liquides et entre les deux électrodes en particulier : par suite celles-ci peuvent manifester des phénomènes de polarisation, en apparence spontanée, qui en modifient la différence électrique. On peut invoquer ces effets pour expliquer, au moins en partie, la baisse lente des forces électromotrices maxima de ces éléments.

» Toutefois cette baisse paraît dépendre surtout d'une autre circonstance, à savoir le changement progressif de composition des deux liquides, changement qui a lieu de part et d'autre de la paroi en raison de leur combinaison et de l'osmose, dans le cas des vases poreux ; il se produit suivant un sens unique lorsqu'on opère le mélange par écoulement du liquide supérieur dans le liquide inférieur au moyen d'un siphon.

» Or les effets des changements progressifs de composition se manifestent d'une façon fort inégale dans les différents systèmes. Tandis qu'il existe des piles à deux liquides séparés par une paroi poreuse, dont la force électromotrice demeure presque constante pendant plusieurs heures, la dose relative de matière combinée étant faible dans ces conditions ; il en existe d'autres, au contraire, dont la force électromotrice est influencée notablement par un mélange fait en proportions même extrêmement faibles. Tels sont en particulier les mélanges d'un acide minéral fort, chlorhydrique, sulfurique, etc., avec les sels neutres, chlorure ou sulfate de sodium. Ces variations peuvent être constatées par addition directe d'une trace d'acide à la liqueur neutre.

» Pour compléter ces explications et achever de définir les conditions qui président aux phénomènes observés avec les piles à deux liquides, il convient d'ajouter que les deux liquides peuvent être mis en contact autrement que par l'intermédiaire d'un vase poreux, condition à laquelle se rapportent de préférence les observations qui précèdent. Or, on obtient des résultats plus nets à divers égards, lorsque les deux liquides sont mis en contact par l'écoulement direct d'un liquide dans l'autre, à l'aide de deux vases placés à des hauteurs inégales et au moyen d'un siphon à robinet de section convenable, débitant par exemple 5 cm^3 à 10 cm^3 de liquide par minute, lors de mes essais. Les deux extrémités de ce siphon sont complètement immergées dans les liquides correspondants ; et l'on agite continuellement le liquide inférieur avec une baguette de verre non conducteur, afin que le mélange s'opère aussitôt. Dans ces conditions le débit peut être réglé de telle façon que la force électromotrice demeure constante, lorsque le circuit est fermé, même lorsqu'il produit une électrolyse extérieure.

» Une fois les deux liquides mis en contact convenable, soit par l'intermédiaire de la paroi des vases poreux, soit par l'écoulement direct de l'un des liquides dans l'autre avec intermédiaire d'un siphon à section notable et à extrémités immergées, il s'établit un certain régime chimique dans le système; régime auquel correspond la force électromotrice mesurable où l'on ferme le circuit; le système se trouvant alors chargé d'électricité par condensation.

» Toutefois, avec les piles à deux liquides, si l'on opère en maintenant le circuit fermé sur la pile même et *a fortiori* sur un voltamètre extérieur, il arrive, dans la plupart des cas, que la force électromotrice observable au premier moment baisse d'abord assez rapidement; non seulement en raison des phénomènes de polarisation, mais aussi et surtout parce que, dans les conditions de ces expériences, la condensation électrique diminue, les quantités de matières combinées à chaque instant, par l'intermédiaire du vase poreux ou du siphon, ne fournissant pas par leur réaction une quantité de chaleur, trans-

[1] *Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. XXVII, p. 171-172.

formable en électricité, suffisante pour compenser la dépense d'électricité qui entretient le courant et les électrolyses extérieures. Mais cet abaissement se modère bientôt, et le système tend de plus en plus lentement vers un régime d'équilibre, entre les quantités d'énergie fournies à l'intérieur de la pile par la réaction chimique, et celles qui sont dépensées au dehors par le passage du courant. Pour préciser, il suffira de rappeler quelques-uns des chiffres publiés dans mes Mémoires.

» I. Acide sulfurique et soude, avec électrodes de platine (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. XXVII, p. 230) ; 6 éléments à siphon ; circuit fermé sur la pile ; E initiale 0,60 volt $\times$ 6 [1] ; après 4 minutes, 0,61 volt $\times$ 6. Il y a ici compensation, en raison du débit notable du siphon. L'intensité du courant est d'ailleurs suffisante pour décomposer l'eau, en dégageant de l'hydrogène, dans un voltamètre renfermant de l'acide sulfurique étendu et du pyrogallol ; les bulles de gaz étant visibles sous une pression de 0,005 m.

» II. Mêmes liquides : l'un des deux liquides étant contenu dans des vases poreux intérieurs (p. 227). Force électromotrice initiale de la pile : $E = 2,94$ volts ; le circuit demeurant fermé sur la pile pendant 4 minutes, puis rouvert avant la mesure, la force tombe à 1,98 ; c'est-à-dire qu'elle baisse d'un tiers : son abaissement étant alors presque stationnaire.

» On ouvre le circuit. Au bout de 15 minutes, le potentiel a remonté, par suite de l'accumulation de nouvelles doses d'électricité, résultant de l'action chimique intérieure et de la dépolarisation, attribuable à la diffusion des gaz condensés sur le platine.

» Au bout de 15 minutes, la force est revenue à 2,58 volts ; le circuit demeurant de nouveau fermé pendant 4 minutes ; la force est tombée à $E = 1,55$ volt. Le circuit demeurant de nouveau ouvert pendant 1 heure : E remonte à 2,46 volts.

» Dans cette expérience, les quantités de liquide réagissant par l'intermédiaire du vase poreux étaient insuffisantes pour entretenir le potentiel initial. Celui-ci a donc dû baisser jusqu'à équilibre entre la production d'électricité et sa consommation. Mais le circuit étant rouvert, la charge du système tend à se rétablir.

» Ce sont là des phénomènes qui se produisent avec toutes les piles à deux liquides.

» Je citerai seulement un autre exemple de ces variations, exemple observé avec une pile constituée par la réaction $HgCl^2 + 2KCy$, avec électrodes de mercure. C'est une pile exothermique, capable d'électrolyser l'eau dans un voltamètre renfermant de l'eau acidulée avec pyrogallol. La force électromotrice initiale de l'élément étant égale à 0,85 volt $\times 6 = 5,10$ volts, est tombée à circuit fermé pendant le travail de la pile à 0,90 volt. Ayant rouvert le circuit, le voltage est remonté presque instantanément à 0,866 volt $\times 6 = 5,16$ volts. La pile s'est donc rechargée aussitôt, dès que l'énergie développée par la réaction a cessé d'être consommée au dehors.

» Un retour si rapide montre en même temps que la polarisation était insignifiante dans les éléments de la dernière pile.

» Il montre également que dans les éléments susdits la légère variation de composition, apportée pendant un intervalle de temps peu étendu dans les deux liquides par leur combinaison, même jointe à l'endosmose électrique, influe peu sur la grandeur de la force électromotrice.

» Comme contraste avec ces variations étendues, je rappellerai mes expériences faites avec des piles d'oxydation [*Pyrogallol mélangé à la soude, opposé à l'eau oxygénée mélangée au chlorure de sodium (Ann. de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXVII, p. 314)]. La force électromotrice initiale de 2 éléments avec vases poreux étant 1,72 volt ; le courant fermé sur la pile, en interposant une résistance $R = 54\,000$ ohms pendant 6 minutes, $E = 1,70$ volt.

» Le circuit a été fermé alors sur un voltamètre à SO^4H^2 étendu, sous une pression de 0,008 m. On a observé une électrolyse notable, avec dégagement gazeux. A ce moment on mesure $E = 1,70$ volt.

» Cette pile a donc manifesté une intensité sensiblement constante, même en opérant un travail extérieur, en raison de l'activité de la réaction chimique.

(1) La différence de potentiel avant l'expérience et, par conséquent, la charge électrique s'étaient établies sensiblement à la même valeur (0,58 volt par élément), avant qu'il y eût aucun élément de liquide ; bien entendu sans qu'on pût constater à ce moment aucun débit électrique ou travail extérieur (p. 226).

III. — Transformations d'énergie par les électrodes. — « Les transformations d'énergie dans les piles à deux liquides qui exercent une action chimique réciproque méritent une attention toute particulière. En effet, les électrodes jouent alors le rôle de transformateurs, en modifiant la grandeur de la force électromotrice développée par ces actions chimiques. C'est ce qui résulte de la valeur des forces que j'ai constatées avec des électrodes inaltérables (platine, palladium, or, inaltérables dans presque tous les cas), et pour un certain nombre de cas au moins (mercure, cuivre, zinc, etc.) ; ces forces étant souvent très différentes des forces calculables d'après la chaleur des réactions et en outre différentes entre elles, pour les mêmes liquides, suivant la nature des métaux. En opérant à la température ordinaire, avec des liqueurs étendues, dans tous les cas observés, l'intermédiaire des électrodes inaltérables, a abaissé plus ou moins la force électromotrice calculée. Cependant cet abaissement n'est pas nécessaire. En réalité, la force électromotrice, calculée d'après la chaleur de la réaction entre l'acide azotique et la soude par exemple, peut être inférieure au chiffre observé, lorsqu'on opère à une température peu élevée et avec des liqueurs étendues; tandis qu'elle est supérieure, au contraire, à ce chiffre, à une température plus élevée ; ou bien avec des liqueurs très concentrées [1].

» En effet, soit le système $AzO^3H + NaOH$, chaque composant étant dissous dans 5 litres ; on a observé :

Vers 15°. . . .	0,55 volt	correspondant à	13,4 cal.
Vers 54°. . . .	0,78 volt	»	18,6 cal.

» Or, le calcul donne 13 calories, 7 à 15°, avec une faible variation à 54°. Avec des liquides aussi concentrés que possible, la proportion d'eau, $10H^2O$, étant la même pour 1 molécule d'acide et 1 molécule de soude, on a observé :

Vers 15°. . . .	1,11 volt	correspondant à	26,6 cal.

tandis qu'en tenant compte de la concentration, on aurait seulement un accroissement de 1 calorie au plus.

» Ces variations sont analogues à celles qui résultent de la formule d'Helmholtz pour le calcul des forces électromotrices, constatées dans les cas où la chaleur est dégagée par l'altération chimique des électrodes métalliques ; mais avec cette différence que les électrodes sont alors le siège simultané de l'action chimique et de la force électromotrice ; tandis que dans mes expériences les électrodes ne jouent aucun rôle chimique : ce sont de simples agents de transmission.

» Dans ces transformations de potentiel, il est probable que les proportions relatives entre les énergies voltaïques, chimiques, calorifiques transmises sont changées, suivant la nature spécifique des électrodes. Une même dose d'énergie chimique ou calorifique transmise ne répond pas nécessairement à la transmission d'une même dose d'énergie électrique, et réciproquement. Peut-être les métaux des électrodes subissent-ils alors quelque changement de structure ou d'isomérie, de l'ordre de ceux que j'ai étudiés pour l'argent [1].

» En tout cas, il se produit dans cette circonstance quelque chose d'analogue aux phénomènes où l'intensité lumineuse, et plus généralement les intensités de radiation sont modifiées, diminuées ou accrues, par la réflexion ou par le passage à travers certains corps ou certains milieux.

» Dans tous les cas de ce genre, il peut y avoir élévation de potentiel avec diminution de l'énergie transmise. »

Sur une propriété des rayons α du radium, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1517-1522.

On sait que le rayonnement du radium se compose de trois groupes de radiations : on y distingue des rayons analogues aux rayons X (rayons γ) ; des rayons identiques aux rayons cathodiques (rayons β), et des rayons très peu pénétrants (rayons α) dont M. Rutherford a observé la faible déviabilité magnétique inverse de celle des rayons β ; cette propriété permet de les assimiler aux rayons-canaux, transportant des charges électriques positives ; ces rayons sont également émis par le polonium et par le thorium.

[1] Sans qu'il y ait formation de cristaux.

[1] *Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. XXIII, p. 49, et t. XXII, p. 289 et 305.

En recevant sur une plaque photographique un faisceau de rayons α dévié par un champ magnétique, M. Becquerel a montré récemment[1] que ce faisceau était homogène, c'est-à-dire qu'il était constitué par des rayons possédant tous la même déviabilité magnétique.

On sait d'autre part que, conformément aux conclusions de la théorie balistique, les trajectoires des rayons cathodiques β normales au champ magnétique sont, pour chaque rayon simple, des circonférences de cercle. Il était naturel de penser qu'il en était de même pour les rayons α ; dans un champ magnétique d'intensité H, une masse réelle ou fictive *m*, transportant une charge électrique *e*, devrait décrire une trajectoire circulaire de rayon R, avec une vitesse *v*, et la théorie indique, entre ces diverses quantités, la relation

$$RH = \frac{m}{e} v.$$

La grandeur du produit RH caractérise une nature déterminée de radiations, et l'on pouvait penser que ce produit avait une valeur unique pour les rayons α.

L'expérience a montré qu'il n'en était pas ainsi. M. Rutherford, dans sa première publication [2], avait donné une valeur du produit $RH = 3{,}9.10^5$, et en estimant la déviabilité dans un champ électrique, il avait évalué les grandeurs $v = 2{,}5.10^9$ et $\frac{e}{m} = 6.10^3$. Les premières mesures de M. Becquerel avaient donné pour $RH.10^{-5}$ des valeurs variables entre 2,9 et 1,9. En présence de cette divergence, qui devait être attribuée en partie au défaut d'homogénéité du champ magnétique très intense employé par M. Becquerel, celui-ci a repris de nouvelles mesures dans des champs magnétiques dont l'uniformité fut contrôlée avec le plus grand soin, mais dont l'intensité ne pouvait alors atteindre celle des premières déterminations.

Les diverses mesures effectuées dans des champs uniformes ont fait voir que le produit RH était différent dans diverses séries, également précises, et qu'il augmentait avec la distance de la plaque photographique à la source.

Ainsi on peut conclure de ces expériences que, dans un champ magnétique uniforme, le rayon de courbure de la trajectoire des rayons α déviés par le champ, va en augmentant avec la longueur de la trajectoire.

Cette perturbation peut être attribuée à la présence de l'air et par suite ne doit pas s'observer en opérant dans le vide.

L'expérience est difficile à réaliser dans le vide avec un champ suffisamment intense ; cependant M. Th. Des Coudres [1] est parvenu à mesurer dans le vide une déviation magnétique et une déviation électrostatique. Avec un champ magnétique de 2 000 unités, et pour une distance de 8 cm qui ne saurait être parcourue dans l'air, la valeur de RH a été trouvée égale à $2{,}56.10^5$; ce nombre, relativement petit pour la distance de la source à l'écran, est égal à celui que l'on trouve dans l'air pour des longueurs de trajectoires six à huit fois moindres. D'après les expériences de M. Des Coudres, dans le vide, le rapport $\frac{e}{m}$ aurait la valeur $6{,}4{,}10^3$, voisine de celle qu'a donnée M. Rutherford, et la vitesse serait $1{,}65.10^9$.

La comparaison de cette valeur du produit RH avec celles obtenues dans l'air fait ressortir l'influence de l'air sur la trajectoire des rayons α. Pour établir la nature de cette influence il serait nécessaire de mesurer la déviation dans un champ électrique, dans l'air, afin de pouvoir calculer les diverses valeurs de $\frac{m}{e}$ et de *v* le long de la trajectoire, et de voir comment varient ces facteurs.

Si les nombres donnés par M. Rutherford avaient une précision suffisante, on devrait, en les comparant aux résultats de M. Des Coudres, en conclure que $\frac{m}{e}$ est constant et que la vitesse va en augmentant. Il paraît difficile d'admettre *a priori* une augmentation de la vitesse sans que *m* et *e* subissent des variations.

On peut au contraire envisager les hypothèses d'une augmentation de la masse *m*, ou d'une diminution de la charge *e*.

On a, entre les variations de RH, de *m* et

(1) *L'Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 382.

(2) *Physikalische Zeitschrift*, n° 8, 15 janvier 1903, p. 235.

(1) *Physikalische Zeitschrift*, n° 17, 1er juin 1903, p. 483.

de e, la relation

$$\frac{d(\mathrm{RH})}{\mathrm{RH}} = \frac{dm}{m} + \frac{dv}{v} - \frac{de}{e}.$$

Supposons d'abord que m soit une masse matérielle. Celle-ci pourrait augmenter en recueillant sur son passage les ions de l'air. La force vive peut rester constante ou diminuer; supposons-la constante : on aura

$$\frac{dm}{m} + 2\,\frac{dv}{v} = 0,$$

et l'on voit que, si e ne varie pas, la variation de RH aura le signe de la variation m. L'augmentation du rayon de courbure peut donc s'expliquer par une augmentation de la masse. Cette hypothèse n'est pas en contradiction avec les valeurs obtenues pour le rapport $\frac{m}{e}$, valeurs qui sont de l'ordre de grandeur du rapport de la masse des ions électrolytiques aux charges électriques qu'ils transportent.

Dans les rayons α, la masse m est positive ; elle ne peut attirer que les ions négatifs de l'air, et, par suite, la charge e doit diminuer. Une partie au moins de l'effet qui produit une augmentation du rayon de courbure de la trajectoire serait imputable à une diminution de la charge.

D'autre part, si l'on admet avec M. Kaufmann que la masse m est une grandeur purement électromagnétique, fonction de v et de e, on peut, sans faire intervenir des masses matérielles, supposer que la masse positive e attire les électrons négatifs de l'air, et qu'elle diminue le long de la trajectoire. On exprime le même fait en disant que la charge se dissipe progressivement dans l'air rendu conducteur par le passage des rayons α.

Les rayons cathodiques ne paraissent pas présenter cette propriété, du moins au même degré. Peut-être celle-ci est-elle corrélative de la vitesse moindre des rayons α, et de la mobilité des ions négatifs, plus grande que celle des ions positifs.

Cette propriété doit encore être rapprochée, ajoute M. Becquerel, des autres particularités qui caractérisent les rayons α. On sait que M. et Mme Curie ont observé [1] que les radiations α du radium et du polonium sont absorbées par une épaisseur d'air de quelques centimètres et qu'elles deviennent de moins en moins pénétrantes à mesure qu'elles traversent des épaisseurs croissantes d'aluminium ou d'air, loi d'absorption qui est contraire à celle que l'on observe pour les radiations non homogènes, et qui peut être attribuée à une transformation progressive de la radiation. »

[1] *Comptes rendus*, t. CXXX, 8 janvier 1900, p. 76.

Sur une méthode de mesure de la variation du courant dans la bobine en court-circuit pendant la durée de la commutation dans une dynamo à courant continu, par **Iliovici**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1545-1546.

Une bobine à fil fin de même nombre de spires que la bobine de l'induit étudiée la suit parallèlement; on réunit une des extrémités de la bobine de l'induit à l'extrémité correspondante de la bobine à fil fin. Si l'on admet que le flux total embrassé par la bobine à fil fin est égal au flux total moyen embrassé par la bobine de l'induit, la différence de potentiel entre les deux extrémités libres est égale à la chute ohmique de tension dans la bobine de l'induit. La courbe de cette différence de potentiel, relevée par la méthode Joubert, représente donc, à l'échelle près, la courbe d'intensité dans la spire de l'induit considérée.

L'auteur a appliqué cette méthode à une dynamo de 20 kilowatts, dont l'induit était formé par des barres de 1 cm de haut sur 0,15 cm de large. Le fil fin a été placé au-dessus des barres d'un côté de la bobine, et au-dessous de l'autre côté. On a obtenu des courbes qui ont la même allure que les courbes obtenues par d'autres méthodes; en particulier, en dehors du court-circuit, on trouve, pour l'intensité dans la bobine, une valeur presque constante et égale, à quelques centièmes près, à l'intensité du courant qui circule dans la branche de l'induit dans laquelle se trouve la bobine.

On peut corriger les erreurs en évaluant séparément l'erreur qui provient du flux de l'inducteur, de l'induit, etc.; d'ailleurs on peut les rendre assez faibles par une bonne disposition du fil fin.

M. Iliovici se propose d'étudier la meilleure disposition du fil fin en étudiant la variation du courant dans la bobine simultanément par la méthode précédente et par la méthode suivante :

On ouvre la bobine et l'on y introduit, par

des bagues et des balais, une résistance non inductive fixe. La courbe de la différence de potentiel entre deux points de cette résistance est, à l'échelle près, la courbe d'intensité dans la bobine. Pour ne pas produire de dissymétrie dans la machine on introduit dans les autres spires des résistances telles que les résistances de toutes les spires de l'induit soient égales.

Cette méthode, indiquée par l'auteur dans un Rapport présenté à M. P. Janet, Directeur du Laboratoire central d'Électricité, le 6 juin 1903, a été employée aussi par M. Czeija pour l'étude de la *commutation* et publiée par M. Arnold dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 18 juin 1903. La seule différence entre cette méthode et celle de M. Arnold est que celui-ci ne semble pas ajouter des résistances aux autres spires de l'induit. Dans ce cas il faut que la résistance fixe et les résistances de contact des bagues avec les balais soient faibles par rapport à la résistance de la bobine. Cette méthode ne s'appliquerait donc que pour les machines dont l'induit a une grande résistance, c'est-à-dire les dynamos de fort voltage et faible intensité.

Les deux dernières méthodes ont l'inconvénient d'introduire dans les spires de l'induit des résistances additionnelles, ce qui peut changer le régime de la machine, tandis que la méthode par bobines en opposition s'applique facilement et ne change ni l'état ni le régime de fonctionnement de la dynamo étudiée.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

SECTION DE LONDRES

Séance du 8 janvier 1903.

Notes sur la construction des dynamos et alternateurs de grande puissance, par **Ernest Kilburn Scott**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 362-426, mars 1903.

I. Dynamos. — *Forme générale.* — On donne maintenant aux carcasses des dynamos une forme circulaire, avec une section transversale bien arrondie. On peut employer comme métal l'acier ou la fonte ; l'acier vaut mieux au point de vue magnétique, mais les carcasses en fonte sont plus rigides en raison de leur section plus grande ; dans ce cas, les pôles, en acier, sont pris dans la fonte à la coulée. Mais comme il est très important que tous les circuits magnétiques soient identiques sous le rapport des matériaux qui les constituent, l'auteur préfère les carcasses en acier venues *d'une seule* pièce avec les pôles. On les scie ensuite en deux parties, soit dans le plan horizontal, soit dans le plan vertical.

Pôles. — Les pôles à section circulaire sont très employés aujourd'hui parce qu'ils donnent aux spires inductrices la plus faible longueur moyenne. Comme on cherche aujourd'hui à réduire le plus possible le nombre des encoches de l'armature, la surface des pôles doit être feuilletée pour éviter de trop grandes pertes par courants de Foucault. L'assemblage d'un pôle entièrement feuilleté à la carcasse est assez difficile; la méthode généralement adoptée consiste à enfiler à travers les tôles un barreau d'acier qu'on boulonne à la carcasse. La compagnie Oerlikon emploie des boulons à deux tiges pénétrant dans des rainures en V creusées à la base des pôles. Comme le feuilletage n'est réellement utile qu'à la surface de l'entrefer, plusieurs constructeurs emploient des noyaux pleins auxquels ils boulonnent des pièces polaires feuilletées.

Il existe plusieurs façons de réduire la distorsion du champ dans l'entrefer. On a obtenu de très bons résultats en fabriquant des pièces polaires à cornes ajustables et en déterminant par l'expérience la forme exacte qui convient à une machine donnée. On améliore aussi remarquablement la commutation, dans le cas où les balais sont fixes, par la résection des cornes polaires qui tendent à renforcer le champ (fig. 1) et en accroissant le diamètre d'alésage des pièces polaires à cet endroit (fig. 2). La résection des cornes polaires a aussi pour effet de ménager une transition graduée aux conducteurs induits à l'entrée et à la sortie du champ. Mais le meilleur système pour atteindre ce but consiste à aléser diagonalement les pièces polaires (fig. 3). Les maisons Ganz et Schuckert ont adopté cette

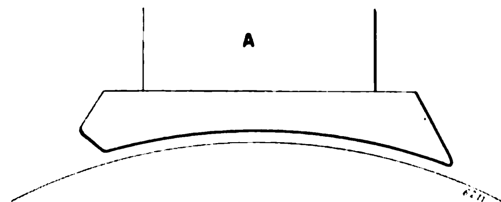


Fig. 1.

méthode. D'autres constructeurs disposent un mince anneau de fonte tout autour de l'induit la perte de flux ainsi occasionnée est plus que

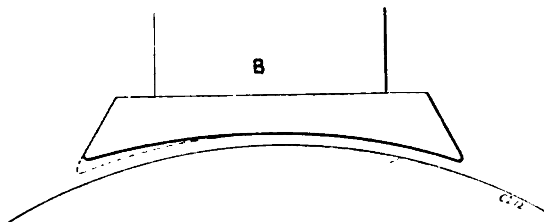


Fig. 2.

compensée par les avantages obtenus : distribution régulière des lignes de force dans l'entrefer et consolidation des bobines inductrices.

Noyau de l'armature. — La meilleure manière de fabriquer les disques consiste à les découper sur un tour : la périphérie et l'évidement intérieur sont ainsi absolument concentriques ; d'ailleurs, le découpage à l'emporte-pièce nécessite des outils coûteux et augmente la perte par hystérésis. On n'est pas d'accord sur les dimensions maxima qu'il convient de donner aux disques d'une seule pièce. Selon l'auteur, il est préférable de recourir aux disques segmentés au-dessus d'un diamètre de 100 cm.

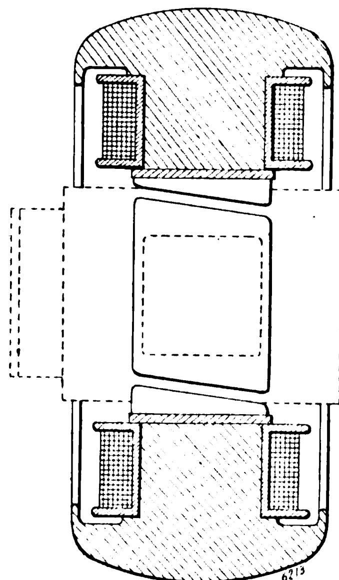


Fig. 3.

La pratique adoptée pour les moteurs de traction, qui consiste à n'avoir qu'un faible nombre d'encoches pour un diamètre donné de l'induit ; sera sans doute de plus en plus suivie pour les génératrices. Une machine exposée à Paris par Ganz et Cie donnait de bons résultats avec un nombre d'encoches très petit pour des dimensions.

Enroulements de l'armature. — L'enroulement en tambour est presque universellement adopté aujourd'hui. Les avantages croissent avec les dimensions de la machine, car l'espace proportionnellement occupé par les raccords des extrémités est d'autant moindre que le diamètre est plus grand et les pôles plus nombreux.

Quand les conducteurs sont de faible section, les bobines peuvent être faites d'une seule pièce. Avec les barreaux de forte section, quand il n'y a qu'une spire par lame de collecteur, on emploie généralement deux barres par spires. Cette disposition augmente le nombre des joints, mais elle rend les conducteurs induits plus indépendants les uns des autres et facilite les réparations. Ces demi-spires sont particulièrement commodes pour les enroulements en série.

Courants de circulation à l'intérieur de l'induit. — Ce qui a fait souvent rejeter les enroulements en parallèle, c'est que si l'équilibre magnétique de l'induit n'est pas parfait, le voltage engendré est plus élevé dans certains circuits que dans les autres, ce qui donne lieu à des courants de circulation internes. Des inégalités dans la largeur de l'entrefer et dans les pôles produisent le même effet.

On peut jusqu'à un certain point compenser l'usure des coussinets en reliant en série d'une part les bobines inductrices situées au-dessus de l'axe, d'autre part celles situées au-dessous, et en mettant ces deux circuits en parallèle. On peut aussi compenser le défaut de symétrie en établissant dans la dynamo les mêmes connexions que dans une commutatrice, c'est-à-dire en reliant entre eux les points au même potentiel. (Voir le brevet anglais de B. G. Lamme, n° 28 736, 1896).

L'enroulement le plus généralement adopté sur le Continent est celui qu'on connaît sous le nom d'enroulement série-parallèle Arnold. Le seul reproche qu'on puisse lui faire, c'est qu'il faut observer certaines relations entre le nombre des pôles et celui des encoches. Mais il a un grand avantage : quoique ce soit un enroulement série, on peut mettre autant de balais que de pôles, ou deux balais seulement.

Une autre façon de donner au circuit magnétique la symétrie voulue consiste à boulonner sur les pièces polaires des anneaux de fer, dont l'un est adapté aux pôles nord et l'autre aux pôles sud.

Dans les machines de grande puissance enroulées en parallèle, on établit toujours aujourd'hui deux, trois, quatre circuits ou davantage, ce qui ramène les conducteurs à des dimensions moyennes. Deux lames du collecteur ou davantage se trouvent ainsi au même potentiel et les balais peuvent en recouvrir un certain nombre, ce qui réduit la longueur du collecteur pour une intensité donnée.

Collecteur. — Le collecteur doit être muni d'un solide support à sa circonférence intérieure; le mieux est d'employer des bagues de micanite en V. Pour l'isolement entre les lames du collecteur on emploiera des lames de mica naturel découpées dans un bloc, les lames fabriquées pouvant renfermer des particules conductrices.

Dans beaucoup de machines étrangères, on emploie, pour les raccords entre l'armature et le collecteur, un métal de résistance élevée,

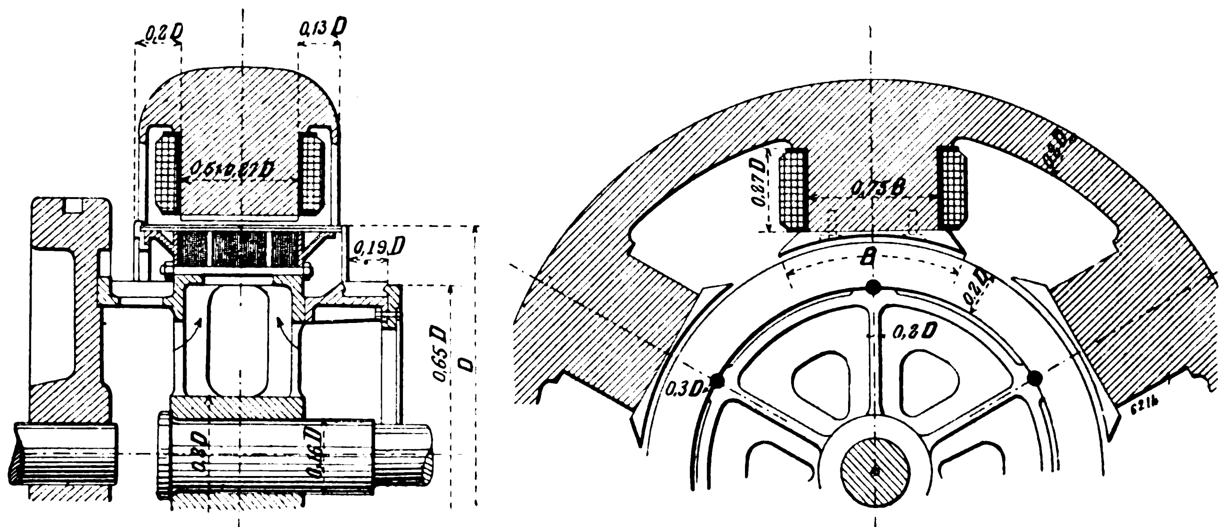


Fig. 4 et 5. — Dimensions approximatives d'une dynamo multipolaire accouplée à une machine à grande vitesse (le volant de cette machine est représenté à gauche de la figure 4).

comme le maillechort, dans le but de faciliter la commutation. D'autres constructeurs adoptent des raccords flexibles et de très faible section, ayant ainsi une forte résistance électrique, favorable à la commutation, et ne pouvant être brisés par les vibrations. Une pratique qui devient très commune, en particulier sur le Continent, c'est de fixer les raccords aux lames du collecteur au moyen de vis d'acier; on évite ainsi les soudures.

Pour empêcher la rupture des raccords à leur point d'attache au collecteur, accident assez fréquent, il est d'usage aujourd'hui de claveter tout l'ensemble du collecteur sur une saillie du support de l'induit; tout déplacement relatif du collecteur et de l'induit est ainsi rendu impossible (fig. 4 et 5).

Porte-balais. — La construction des porte-balais pour balais de charbon ayant été longuement traitée par plusieurs auteurs (Parshall et Hobart : *Génératrices électriques;* Fischer-Hinnen : *Dynamos à courant continu*), M. Scott n'en dit que quelques mots. Il résume son expérience dans les trois recommandations suivantes :

1° *Fixer solidement* le bloc de charbon au bout d'une tige assez longue;

2° Réduire autant que possible l'inertie des parties mobiles. On y arrivera par l'emploi de porte-balais en aluminium.

3° Recueillir le courant au moyen de courts conducteurs flexibles soudés directement dans les frotteurs de charbon.

Isolement électrique. — Pour isoler les encoches de l'armature, certains constructeurs emploient le *press-spahn* (c'est un papier de fibre

de boispure, colorée en rouge et recouverte d'un glaçage à l'huile); d'autres se servent de micanite. Le press-spahn, s'il est maintenu sec, est un excellent isolant, mais il serait hasardeux de se fier à lui seul; il faut avoir recours au mica sous une forme quelconque, cet isolant ayant une grande résistance à la décharge disruptive et n'étant pas influencé par les conditions atmosphériques. Mais la fabrication de la micanite demande de grands soins : les constructeurs devraient la faire eux-mêmes, ainsi que les autres isolants dont ils ont besoin.

Pour les parties des conducteurs qui sont hors du noyau, on emploie le guipage. Il est bon de guiper avec un simple ruban de coton et de ne mettre le vernis qu'ensuite. Au lieu de vernis un bon nombre de constructeurs se servent de l'huile de lin, qui résiste bien à la chaleur. Il faut avoir soin de la purger d'humidité par l'oxydation.

Enroulement inducteur. — Dans les machines hypercompound très puissantes, comme il en existe dans les stations centrales de traction, l'enroulement série présente souvent une section considérable et il est assez difficile de le disposer commodément. Tantôt on emploie un câble toronné ordinaire et l'on fait supporter les bobines par la carcasse de façon à les rendre indépendantes des bobines shunt. Tantôt, quand la section du pôle est circulaire ou ovale, on emploie un ruban de cuivre nu enroulé de champ, selon la méthode de M. Ferranti, en isolant les spires par des disques de papier de riz ou de press-spahn. On réduit la dépense et les complications en n'adaptant l'enroulement de compoundage que sur les pôles nord.

En ce qui concerne les enroulements shunt, il arrive souvent que pour les grandes machines les fils de section usuelle ne donnent pas le nombre voulu d'ampèretours. En ce cas on emploie deux sortes de fils, l'un trop gros, l'autre trop fin et l'on détermine le nombre de spires de chacun d'eux de façon à obtenir la force magnétomotrice nécessaire. Il faut avoir soin que le nombre de tours de chaque fil soit exactement le même pour tous les pôles.

Séchage. — Si l'on emploie un four, il doit être spacieux et bien éclairé, avec plusieurs petites portes de fer s'ouvrant dans les grandes. On y entretient d'ordinaire une température de 75° C., mais dans certains cas il sera bon de la pousser jusqu'à 100 ou 150°. Au lieu de recourir au four, on peut chasser l'humidité en faisant passer dans les conducteurs un courant de grande intensité à bas voltage; on empêche le rayonnement de chaleur au moyen d'écrans en amiante. Cette méthode est plus efficace mais aussi plus coûteuse que celle du four. La chambre à vide donne aussi d'excellents résultats; dans ce genre, l'appareil Passburg est le meilleur connu, il a été adopté par les premiers constructeurs du Continent.

Données numériques. — Pour déterminer la relation qui existe entre la puissance et les dimensions des machines actuelles, le mieux est de se servir de la formule :

$$\text{Watts} = \text{coefficient} \times n \times d^2 \times l$$

où n indique le nombre de tours par minute, d le diamètre de l'induit, l sa longueur. Si d et l sont exprimés en centimètres, on trouve que les valeurs moyennes du coefficient sont les suivantes :

Pour les plus grandes dynamos-volants .	$2,12 \times 10^{-3}$
» grandes dynamos multipolaires.	$1,92 \times 10^{-3}$
» dynamos multipolaires de puissance moyenne (environ 300 kilowatts)	$1,6 \times 10^{-3}$
» petites dynamos multipolaires .	$1,15 \times 10^{-3}$

A l'aide de cette formule, la puissance d'une machine et sa vitesse étant données, on calculera d^2l (qu'on appelle la *constante de dimensions* de la machine). Il n'y a plus alors qu'à diviser la valeur trouvée entre les deux facteurs de façon à réaliser les proportions qu'on sait être les meilleures pour une carcasse donnée. On sait par exemple que pour de grandes valeurs de d^2l l'armature devient de plus en plus *volante*, selon l'expression du Dr Thompson. Pour faciliter cette recherche, l'auteur donne une Table qui indique les proportions convenant aux diverses valeurs de d^2l, ainsi que le nombre des pôles et le poids approximatif des principales pièces de la machine.

Quant aux autres dimensions, l'auteur a constaté qu'on peut les exprimer grossièrement en fonction du diamètre de l'induit, comme il l'indique dans plusieurs figures; nous reproduisons celle qui s'applique à une dynamo multipolaire devant être accouplée à une machine à grande vitesse (fig. 4). Dans les machines bipolaires, toutes les dimensions peuvent s'exprimer en

fonction du diamètre, mais, dans les dynamos multipolaires, on obtient la longueur de l'arc polaire en multipliant le nombre de pôles par 4. Le diamètre du noyau est égal aux trois quarts de cette quantité. Ce ne sont là, d'ailleurs, que des approximations.

Pour une machine dont l'armature aurait environ 1,50 m de diamètre, le prix des divers matériaux proportionnellement au prix total serait à peu près comme ci-dessous :

Cuivre de l'induit	6 p. 100
Cuivre de l'inducteur	19 »
Cuivre du collecteur	6 »
Tôles de l'induit	12 »
Pôles inducteurs	7 »
Culasse	20 »
Matériaux isolants	8 »
Divers	22 »

Voici une règle qui donne une indication immédiate de la grandeur du diamètre : la densité de courant par centimètre de circonférence, ou la *densité circonférentielle de courant*, doit être égale à

$$\frac{\text{nombre de conducteurs} \times \text{intensité dans un conducteur}}{\pi \times \text{diamètre de l'armature en centimètres}}$$

Pour les machines multipolaires ordinaires, la valeur moyenne de cette expression est d'environ 200.

Le nombre de pôles est déterminé par l'intensité du courant qu'on peut recueillir à chaque pôle et cette intensité est elle-même fixée par la densité de flux magnétique dans l'entrefer. On peut cependant prendre pour valeur moyenne du rapport 500 ampères par pôle.

II. Alternateurs polyphasés. — Il est évident qu'une grande partie de ce qui a été dit plus haut, relativement par exemple aux tôles de l'armature, aux méthodes d'enroulement, à l'isolation, etc., s'applique aussi aux alternateurs. L'auteur ne considère que l'alternateur polyphasé de type courant : induit denté fixe, inducteur mobile, les pôles tous bobinés.

Types de construction. — L'auteur résume comme suit la description d'un alternateur polyphasé de type moderne :

1° Type triphasé de préférence au diphasé. Il s'adapte plus aisément à diverses exigences et donne une plus grande puissance pour une carcasse de dimensions déterminées.

2° Le montage en étoile, étant la disposition ordinaire qu'on emploie pour relier au réseau les moteurs et les lampes, doit être préféré au montage en triangle. La tension imposée à l'isolement est d'ailleurs moindre de plus d'un tiers avec le montage en étoile. Enfin, avec le montage en triangle, si la courbe de force électromotrice n'est pas une sinusoïde, il peut s'établir des courants internes.

3° Deux encoches par pôle et par phase. L'enroulement est moins cher avec une seule encoche, mais, avec deux, la courbe de force électromotrice se rapproche davantage d'une sinusoïde. Avec trois encoches, le travail est trop coûteux.

4° Comme forme d'encoche, adopter le tunnel à demi ouvert ou l'encoche à parois parallèles, de façon à pouvoir se servir de bobines enroulées sur calibre.

5° Pôles en acier fondu, de section largement calculée, de façon à pouvoir maintenir aussi basse que possible la densité de flux magnétique et par suite l'intensité de courant d'excitation. Une bobine pour chaque pôle.

6° Pôles ronds si possible, ou en tout cas ovales, afin de réduire les fuites entre pôles et de pouvoir employer le ruban de cuivre enroulé de champ.

7° Pièces polaires feuilletées ; les cornes polaires réduites en longueur et en surface afin d'obtenir une force électromotrice sinusoïdale.

8° Pour l'amortissement, relier les cornes polaires entre elles par des plaques de cuivre fondu. Les enroulements amortisseurs obligeant à pratiquer des trous dans les pièces polaires, reviennent plus cher.

Volant. — Les alternateurs n'ont pas de volant séparé comme on en adapte souvent aux dynamos à courant continu ; c'est la partie tournante de l'alternateur qui sert de volant. Aussi est-elle en général munie d'un double système de bras, afin de ménager l'espace nécessaire pour boulonner les pôles.

Pour fixer à l'arbre un volant d'alternateur, la méthode la plus répandue est de fondre le moyeu en deux sections et de l'entourer de deux forts anneaux de serrage. Si ce montage est bien fait, le clavetage est inutile.

Ajustage de l'entrefer. — C'est là un des points délicats de la construction des alternateurs, le diamètre des armatures étant très grand

(4 à 6 m) par rapport aux épaisseurs ordinaires d'entrefer (environ 8 mm). On se sert souvent de coins à vis placés sous les supports et sous le bas de la culasse. Quelquefois les supports de la culasse sont fondus séparément et munis de vis de réglage verticales et horizontales. Dans la machine Siemens et Halske, on ajuste l'entrefer au moyen d'un appareil spécial muni de rouleaux, sur lequel repose la partie inférieure de la culasse.

Remplacement de la culasse par des tirants. — Dans la machine Schuckert exposée à Paris en 1900, la carcasse était légèrement construite et consolidée par des tirants radiaux. La Société A. E. G. supprime complètement la culasse de fonte et la remplace par des tirants tangents au noyau de l'armature. Il y a avantage à donner aux grandes machines un axe vertical ; on évite ainsi les déformations, en donnant à la machine la forme d'un parapluie. Cette pratique devrait se répandre, car il n'y a pas de difficulté à placer dans le sens vertical l'arbre moteur d'une machine à vapeur.

Machine à pôles extérieurs. — La machine à pôles extérieurs, ou type Niagara (la figure 5 représente la disposition relative du noyau induit et du volant inducteur) a cet avantage qu'on peut faire aussi lourde qu'on veut la jante du volant. Elle s'accouple donc facilement aux machines à manivelle unique et à faible vitesse, particulièrement aux moteurs à gaz. La culasse de l'induit, construite en forme de poulie, n'est pas sujette aux déformations, et comme les pôles sont à l'intérieur de la jante du volant, il ne s'exerce sur leurs boulons aucun effort dû à la force centrifuge. De plus l'armature est d'une construction moins coûteuse, car elle exige moins de fer et de cuivre [1].

Pôles. — L'auteur exprime sur ce point les mêmes opinions que M. Esson (voir le numéro du 6 juin); il recommande les pièces polaires feuilletées et l'enroulement Ferranti.

Armature. — On donne souvent au noyau de l'armature une épaisseur plus grande qu'il n'est nécessaire, pour des raisons purement mécaniques. Aux fréquences élevées (50 périodes ou plus par seconde), la longueur de l'arc polaire est relativement faible, ce qui permettrait d'employer un noyau assez mince. Mais pour lui donner la résistance mécanique suffisante, on construit généralement le noyau de l'épaisseur qui serait nécessaire pour une fréquence de 25 périodes.

Il est bon de raccourcir le circuit magnétique autant que possible, aussi les pôles ne

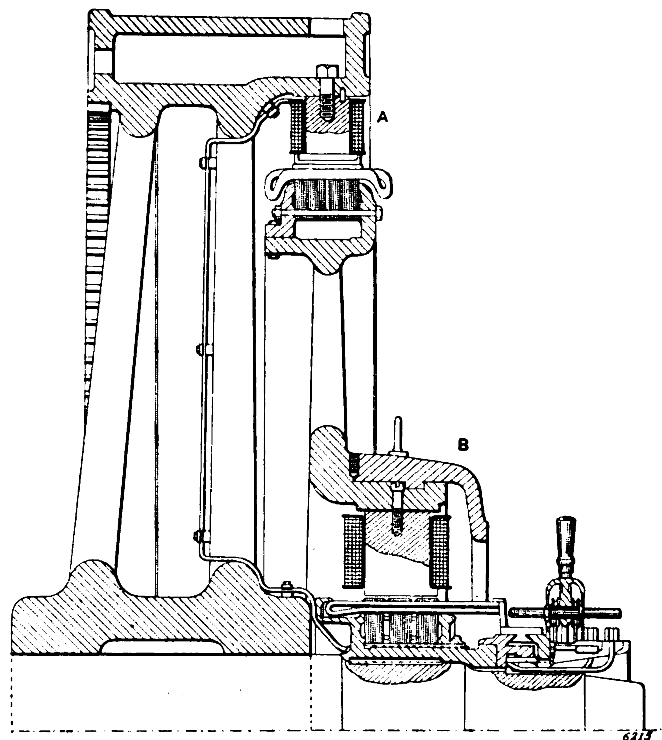


Fig. 6. — Type d'alternateur triphasé à pôles extérieurs.
A, pôles inducteurs; B, excitatrice.

doivent-ils pas être trop longs, ni les encoches trop profondes.

On pratique souvent les encoches ou les perforations dans l'induit tout formé. C'est ce qui a été fait pour les grandes machines Lahmeyer de 1 600 kilowatts, fournies à la Compagnie Charing Cross and Strand. On emploie alors, pour enlever les bavures, une roue à polir ou une lime, selon qu'il s'agit d'encoches ou de tunnels. Un outil spécial, la machine Mann, a été construit spécialement pour ce dernier cas.

Irrégularité périodique. — Elle dépend surtout du genre de la machine motrice. L'effort moteur uniforme d'une turbine réalise naturellement les meilleures conditions. Cependant une

(1) Il faut noter que ce modèle a été rejeté en faveur du type à inducteur intérieur pour les plus récentes machines installées à l'usine du Niagara.

machine à une seule manivelle vaut mieux qu'une machine à deux manivelles calées à 90°, parce qu'il y a moins de variations de vitesse par tour. En Angleterre on emploie beaucoup la machine à trois manivelles et l'on accouple l'alternateur à l'extrémité d'un prolongement de l'arbre. Sur le Continent on obtient d'excellents résultats avec des machines compound tandem à une manivelle. Les grands alternateurs de 5000 kilowatts du « Manhattan Elevated Railway » sont conduits à la fois par des machines horizontales et des machines verticales, de façon à égaliser le plus possible le couple moteur.

On favorise beaucoup la régularité périodique en munissant les pôles d'enroulements amortisseurs. Avec des pôles pleins, un rebord épais de bronze ou de cuivre adapté à la bobine inductrice près de la surface polaire sera suffisant. On allonge souvent ces rebords de façon qu'ils rejoignent entre elles les cornes polaires. Avec des pôles laminés, on emploie les enroulements amortisseurs Leblanc.

Chute de tension. — La chute de tension doit être aussi faible que possible, car non seulement elle nuit, quand elle est trop forte, à la distribution de lumière, mais elle porte atteinte à la marche des moteurs asynchrones, puisque le couple de ces moteurs varie avec le carré de la tension appliquée.

La chute de tension d'un alternateur polyphasé est due à la résistance ohmique, aux courants de Foucault dans le cuivre, à la réaction d'induit, aux fuites dans l'induit et à l'accroissement des fuites magnétiques dans l'inducteur entre la marche à vide et la pleine charge.

La chute de tension est aujourd'hui le principal facteur limitatif de la puissance. Elle est généralement comprise entre 3 et 8 p. 100 avec un facteur de puissance égal à 1, entre 10 et 20 p. 100 avec un facteur de puissance égal à 0,8. Un bon système de compoundage délivrerait les constructeurs de ce souci et permettrait d'accroître notablement la puissance pour des dimensions données.

Les fuites magnétiques entre pôles sont le point le plus important à considérer dans la construction des alternateurs. De deux machines ayant la même « constante de dimensions » d^2l, celle qui a le plus grand diamètre donnera, toutes choses égales d'ailleurs, les meilleurs résultats, parce que ses pôles seront plus écartés ; d'autre part, elle sera plus coûteuse. Les hautes fréquences conduisent parfois à rapprocher beaucoup les pôles, ce qui entraîne des fuites considérables, même avec un entrefer très étroit.

Données numériques. — Les alternateurs tournent généralement à des vitesses tangentielles supérieures à celles des dynamos, leurs fréquences exigeant des pôles plus nombreux et par suite un plus grand diamètre. Des vitesses de plus de 25 m par seconde sont très pratiquées. En fait, un volant d'acier coulé, muni d'anneaux de serrage bien ajustés peut tourner sans danger à 35 m par seconde. Avec la fonte, il ne faut pas dépasser 25. Le poids d'un alternateur volant étant relativement très grand, il faut, pour ne pas être obligé de donner à l'arbre un trop grand diamètre, rapprocher les paliers. C'est pourquoi l'inducteur sert généralement de volant.

Si l'on applique aux alternateurs la formule déjà indiquée à l'occasion des dynamos à courant continu :

$$\text{Watts} = \text{coefficient} \times n \times d^2 \times l$$

la valeur du coefficient varie à peu près comme ci-dessous :

Pour les plus grands alternateurs-volants.	$1{,}92 \times 10^{-3}$
» grands alternateurs	$1{,}28 \times 10^{-3}$
» alternateurs de puissance moyenne (environ 300 kilowatts).	$0{,}64 \times 10^{-3}$
» petits alternateurs	$0{,}32 \times 10^{-3}$

Le tableau ci-dessous donne la proportion du coût des divers matériaux par rapport au prix total :

Cuivre de l'induit.	2 p. 100
Cuivre de l'inducteur	9 »
Tôles de l'induit	13 »
Pôles inducteurs	8 »
Matériaux isolants	5 »
Culasse de l'induit, volant, arbre, paliers . .	42 »
Divers	21 »

L'auteur a rassemblé à la fin de son mémoire plusieurs tables renfermant de nombreuses données numériques relatives aux dynamos et aux alternateurs de modèle contemporain.

P. L.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXVI — Samedi 25 Juillet 1903. — 10e Année. — N° 30

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES ÉLECTRONS (1)

Dans l'*Electricité* de Maxwell, ouvrage publié en 1873, on trouve, à propos des décharges électriques dans les gaz, spécialement dans les gaz raréfiés, la phrase suivante :

« Ces phénomènes et beaucoup d'autres qui accompagnent la décharge électrique sont très importants, et, quand ils seront mieux connus, jetteront probablement une vive lumière sur la nature de l'électricité et aussi sur la nature des gaz et du milieu qui remplit l'espace ».

Sir Oliver Lodge cite ce passage au début de sa conférence sur les électrons à l' « Institution of Electrical Engineers ». — « La prédiction de Maxwell, dit-il, s'est réalisée : l'électrostatique a pris une grande importance théorique ; l'étude des phénomènes suscités par les charges électriques au repos et en mouvement donnera la solution des problèmes qui ont préoccupé les philosophes, les physiciens et les chimistes, depuis que l'effort des hommes a pu se tourner vers les recherches désintéressées. »

C'est qu'en effet la théorie des électrons, quoique récente et incomplète encore, s'étend déjà sur un vaste domaine. Ses partisans n'expliquent pas seulement tous les phénomènes électriques par les déplacements de petites charges statiques animées de vitesses énormes; ils croient pouvoir, par la même conception, rendre compte de toutes les propriétés de la matière : la matière ne serait que l'électricité. Sa propriété fondamentale, l'inertie, n'aurait d'autre cause que la self induction.

Sir Lodge expose les premiers résultats obtenus par ce grand effort de synthèse. Nous reproduisons ici la plus grande partie de sa conférence, dont nous n'avons retranché que

(1) D'après Oliver Lodge.

quelques développements, en particulier les appendices où l'auteur donne la justification analytique de certains points de la théorie (²).

I. — Il faut d'abord établir une base de théorie pure : on va considérer les propriétés de ce phénomène depuis longtemps connu, qu'on appelle un corps électrisé.

Deux substances mises en contact, puis séparées, sont en général réunies de façon plus ou moins permanente par des lignes de force, la région comprise entre elles se trouvant en état de tension le long de ces lignes, et de pression dans la direction perpendiculaire. Ces lignes ont une direction : elles commencent à l'un des corps et finissent à l'autre ; elles délimitent un champ de force électrostatique, et leurs terminaisons sur l'un ou l'autre des corps constituent ce que nous appelons une charge électrique. Les charges électriques sont de deux sortes : l'une correspondant aux origines des lignes, l'autre à leurs extrémités. Il y a une catégorie de corps, appelés isolants, auxquels les lignes paraissent rigidement attachées; dans des corps d'une autre classe, elles se détachent facilement et l'on peut aisément les transférer d'un de ces corps, dits conducteurs, à un autre. La tension qui existe dans les lignes tend à en rapprocher les extrémités autant que possible et donne lieu aux attractions et aux répulsions électriques.

Dans le vide, il est probable que la seule façon de détruire un tel champ de force est de laisser les deux corps se rapprocher et de raccourcir ainsi les lignes de force jusqu'à une longueur nulle. Même alors, cependant, il n'est pas probable que les charges soient détruites, mais elles sont si rapprochées qu'elles ne produisent aucun effet extérieur à une distance finie. Mais en présence de la matière, qui peut intervenir de diverses manières dans cette disparition des lignes de force, on observe les phénomènes de conduction et de décharge disruptive.

Si l'un des corps à charges opposées est écarté à une distance considérable, tandis que l'autre, isolé, est considéré à part, les lignes de force issues de ce dernier se dispersent dans toutes les directions en lignes presque droites et l'on a la notion simple d'un corps électrisé unique, chose aussi irréalisable qu'un pôle magnétique unique. Il faut bien que les autres extrémités des lignes soient quelque part, quoiqu'elles puissent être si éloignées qu'il est permis, en pratique, de les regarder comme comme situées à l'infini.

Considérons maintenant en quoi ce champ de force appartient au corps et en quoi il appartient à l'espace, c'est-à-dire à l'éther qui entoure le corps. Le corps est le centre d'où rayonnent les lignes, mais ces lignes elles-mêmes, l'état de tension et les autres propriétés qu'elles représentent et délimitent, n'appartiennent nullement au corps ; en chaque point de l'espace il existe un potentiel électrique et ce potentiel représente quelque chose qui se passe dans l'éther et dans l'éther seul.

Sphère électrisée. — Représentons-nous un de ces corps, par exemple une sphère électrisée, et supposons qu'elle se déplace ; quel sera l'effet de ce déplacement sur son champ de force ? Quand un corps se meut, l'éther qui l'environne ne se meut pas, rien en physique n'est plus certain que cela. L'éther, en effet, est immobile, il est susceptible de se tendre, mais non de se mouvoir, il est le siège du potentiel, non celui de l'énergie cinétique.

L'effet du mouvement du corps est donc d'annuler la tension de l'éther en une région et de l'engendrer en une autre ; l'état de tension se déplace *avec* le corps, mais *à travers* l'éther.

Si l'on considère le phénomène au point de vue de l'éther, on peut dire que le champ

(²) Voir *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 45-110, février 1903.

de force est constamment détruit et recréé pendant que le corps se meut. Si on le considère au point de vue du corps en mouvement, on doit dire que celui-ci entraîne son champ avec lui.

Une question difficile se présente maintenant : que se passe-t-il dans l'éther pendant cette disparition et cette régénération du champ électrostatique, c'est-à-dire pendant qu'un champ de force se déplace à travers l'éther? L'adaptation de ce milieu aux nouvelles conditions se fait-elle d'une façon instantanée ou progressive? M. Olivier Heaviside a fait une étude complète de ce sujet.

Considérons un point situé à 1 km du corps : la perturbation causée par le mouvement du corps atteint-elle ce point instantanément, de sorte que toutes les lignes de force se meuvent comme des rayons rigides, et en ce cas, comment s'effectue cette communication instantanée? ou la perturbation n'atteint-elle le point éloigné qu'après un temps court mais de durée appréciable? en d'autres termes, doit-il y avoir adaptation aux conditions nouvelles, adaptation qui s'exerce d'abord sur les régions proches et ensuite sur les régions éloignées, et en ce cas, quel sont les nouveaux phénomènes qu'on peut observer pendant la période troublée?

La réponse est que pendant le mouvement du corps électrisé, et même après la cessation de son mouvement, jusqu'à ce que la perturbation ait disparu et que les conditions statiques se soient rétablies, les phénomènes *magnétiques* apparaissent; de nouvelles lignes de force, très différentes des lignes de force électrostatiques (quoiqu'elles aussi soient soumises à une tension le long de leur direction et à une pression normale) se manifestent temporairement. Elles n'ont pas, comme les précédentes, un point d'origine et un point terminal; ce sont toujours et nécessairement des courbes fermées et, dans le cas simple actuel, ce sont des cercles ayant leurs centres sur la trajectoire du corps électrisé. Il y a donc en tout point de l'espace trois directions à considérer : 1° la direction originelle du champ électrostatique — la ligne de force électrostatique originelle; 2° la direction du mouvement — c'est-à-dire une direction parallèle au mouvement de la sphère électrisée; 3° la direction normale aux deux précédentes, cette dernière étant la direction des lignes de force magnétiques — la direction du champ magnétique.

Lorsqu'on dit que le champ magnétique est temporaire, c'est dans l'hypothèse où le corps électrisé est simplement déplacé d'une position à une autre; s'il ne s'arrête pas, mais continue à se mouvoir, les lignes magnétiques durent aussi longtemps que le mouvement. En un point de coordonnées r, θ, la force du champ est :

$$H = \frac{eu}{r^2} \sin \theta$$

e, charge d'électricité, u, vitesse de déplacement [1].

Il y a encore un fait à établir. Quand le corps électrisé est immobile, tout est en équi-

[1] Au cas où l'on demande si un tel champ magnétique est faible ou non, il faut répondre que ceci dépend entièrement de la grandeur de la charge et de la vitesse de son déplacement. Il n'y a, croit-on, pas d'autre sorte de champ magnétique possible, et dès lors, si l'on se trouve en présence d'un champ que l'on pense pouvoir considérer comme intense, il faut conclure que ce champ vient d'une très forte charge se déplaçant avec une grande rapidité. Mais il est certainement vrai que pour toute sphère électrisée ordinaire se déplaçant à une vitesse ordinaire, même s'il s'agit d'un boulet de canon, le champ magnétique circulaire entourant sa trajectoire est très faible. Faible ou non, il existe, et c'est à son existence qu'il faut attribuer tous les phénomènes magnétiques du courant électrique. Car, de même qu'il n'y a pas d'autre champ électrostatique que celui qui s'étend d'un corps électrisé à un autre, de même il n'y a pas d'autre courant électrique que le mouvement d'un corps électrisé, et pas d'autre champ magnétique que celui qui entoure la trajectoire de ce mouvement.

libre et nous avons seulement un champ électrique. Quand le corps électrisé se meut à vitesse constante, le courant est constant et l'on a un champ magnétique constant superposé à un champ électrique en mouvement uniforme, et un certain transport d'énergie dans la direction du mouvement.

Mais que se passe-t-il durant les phases intermédiaires, d'abord pendant la période de mise en mouvement, quand la charge a commencé à se mouvoir mais n'a pas encore atteint une vitesse constante et ensuite pendant la période d'arrêt, quand on a appliqué le frein et que la vitesse décroît, ou encore quand le mouvement change de direction ? Ce qu'on observe alors diffère de l'électrostatique et du magnétisme simples.

On rencontre le phénomène d'induction, c'est-à-dire la génération d'une force électromotrice induite, dont la valeur en un point quelconque est égale à la vitesse de variation du champ magnétique en ce point. Comme il n'y a pas de conducteur, cette force électromotrice ne donnera naissance à aucun courant, mais elle présentera une nouvelle force électrique, agissant dans une nouvelle direction, qui est perpendiculaire à la direction du flux magnétique croissant. Donc la force électromotrice nouvelle, ou induite, agit dans la direction du mouvement, mais dans le sens contraire au changement qui s'y produit, et l'effet de sa superposition au champ magnétique est de faire émettre par la charge d'électricité en mouvement accéléré une petite quantité d'énergie dans une direction radiale. Cette énergie qui se disperse ainsi avec la vitesse de la lumière est, dans les cas ordinaires, en quantité extrêmement faible.

Ce sont ces périodes d'accélération ou de ralentissement d'une charge électrique qui donnent naissance au phénomène appelé radiation. C'est là l'unique cause des ondes de l'éther et des diverses variétés de lumière. L'énergie rayonnée par seconde est $\frac{2\mu e^2\left(\frac{du}{dt}\right)^2}{3v}$ v étant la vitesse de la lumière et $\frac{du}{dt}$ l'accélération de la charge e.

Ces idées fondamentales, largement développées, résument et pour ainsi dire expliquent tous les phénomènes de l'électricité et de l'optique.

Inertie électrique. — L'éther, quelle que soit sa constitution hydrodynamique, est le siège de flux électriques et magnétiques, et transmet l'énergie qui se dégage partout où les lignes de force des deux sortes se coupent à angle droit.

Une charge d'électricité en mouvement accéléré équivaut à un courant variable, car $\frac{dI}{dt}$ peut s'écrire $\frac{d^2Q}{dt^2}$. (I désigne l'intensité du courant). Quant l'intensité du courant varie, il s'établit une force électromotrice de self-induction égale à $\mathfrak{L}\,\frac{dI}{dt}$.

Au point de vue du courant constitué par une charge électrique en mouvement, ceci correspond à l'accélération d'une masse, et la force électromotrice s'oppose à l'accélération électrique, exactement comme l'inertie mécanique s'oppose à l'accélération de la matière. Pour mettre en mouvement ou pour arrêter le mouvement d'un corps électrisé, il faut donc un peu plus de force et de travail que s'il n'était pas électrisé. Autrement dit, le fait de son électrisation augmente légèrement son inertie [1].

Or une masse même très faible de matière, un milligramme par exemple, se déplaçant avec la vitesse de la lumière, possède une énergie énorme, qui s'élève à 1 570 millions de

[1] Comme l'auteur le démontre dans un appendice, la valeur de cette inertie électrique, dans le cas d'une sphère de rayon a, est :

$$\frac{2}{3}\,\frac{\mu e^2}{a}$$

kilogrammètres pour le milligramme. L'inertie d'une quantité ordinaire de charge électrique doit donc être extrêmement faible. Il est douteux, cependant, qu'il existe aucune inertie d'autre sorte.

La seule manière de donner une masse appréciable à une quantité déterminée de charge électrique, c'est de l'élever à un très haut potentiel, c'est-à-dire de la concentrer sur une très petite sphère.

D'après les données fournies par l'électrolyse, la charge d'un atome est de 10^{-10} unités électrostatiques. Si elle était distribuée uniformément sur une sphère de dimensions égales à celles d'un atome, c'est-à-dire de 10^{-8} cm de rayon, son potentiel serait de $\frac{1}{100}$ d'unité électrostatique, ou environ 3 volts. L'énergie de cette charge serait 10^{-12} erg et l'inertie d'un corps possédant cette énergie et se déplaçant avec la vitesse de la lumière serait 10^{-33} gr. Cette valeur est incomparablement plus faible que la masse d'un atome d'hydrogène, qui est d'environ 10^{-25} gr. Donc la charge ionique distribuée uniformément sur un atome n'augmenterait sa masse que d'une fraction inappréciable. Mais si la charge atomique était condensée en une sphère de 10^{-13} cm de rayon, son potentiel serait de 1 000 unités électrostatiques ou 300 000 volts, son énergie, de 10^{-7} erg et son inertie de 10^{-28} gr, c'est-à-dire environ $\frac{1}{1\,000}$ de la masse d'un atome d'hydrogène.

Les remarques que l'on vient de faire sont l'exposé de faits indéniables, dérivant de la théorie classique de l'électricité. Elles ne présument nullement l'existence réelle des électrons. Il est donc prouvé qu'une charge électrique ordinaire, concentrée sur une sphère quelconque mise en mouvement par une force mécanique, nous donne :

Au repos, les phénomènes de l'électrostatique.

En mouvement, ceux du magnétisme.

Au départ et à l'arrêt, ceux de la radiation.

De plus, en vertu des lois de l'induction électromagnétique, elle possède une sorte d'inertie particulière, et, par là, donne le simulacre de la propriété fondamentale de la matière.

Ajoutons encore deux faits :

Une force électromotrice assez énergique appliquée à une sphère chargée d'électricité, peut lui soustraire sa charge.

Quand une sphère électrisée est en mouvement très rapide, on peut encore en chasser la charge qu'elle porte en interposant sur sa trajectoire un obstacle, de façon à l'arrêter brusquement. C'est ainsi qu'on obtient les rayons Rœntgen.

II. — Découverte de l'atome d'électricité. — Dans le traité de Clerk Maxwell, on trouve, dans le chapitre sur l'électrolyse, la phrase suivante :

« Supposons cependant que nous écartions cette difficulté en affimant simplement le fait de la valeur constante de la charge moléculaire et que pour plus de commodité nous appelions cette charge moléculaire constante, une molécule d'électricité. »

C'est ainsi qu'un homme de génie s'est trouvé naturellement conduit à la conception de la nature atomique de l'électricité, par les phénomènes de l'électrolyse et la connaissance des lois de Faraday. Maxwell ajoute un peu plus loin :

« Il est très improbable que lorsque nous connaîtrons la vraie nature de l'électrolyse, nous retenions sous une forme quelconque la théorie des charges moléculaires, car ayant alors une base sûre pour la théorie des courants électriques, nous n'aurions plus besoin de ces théories provisoires. »

Il est téméraire de prédire ce qui arrivera en dernier lieu, mais l'état actuel de la science électrique paraît défavorable à cette dernière prédiction de Maxwell. Il serait surpris de l'importance et de la précision que la théorie des charges moléculaires a prises aujourd'hui.

L'unité de charge électrique, la charge d'un atome électrolytique est une unité naturelle d'électricité, dont on peut avoir des multiples, mais dont il est impossible, selon nos connaissances actuelles, d'avoir des fractions.

On trouve le passage suivant dans la section 32 des « Modern Views of Electricity : »

« La charge d'un atome, qui constitue la plus faible quantité d'électricité qu'on connaisse, est une véritable unité naturelle. C'est là évidemment un fait des plus importants. Cette unité, au-dessous de laquelle on ne connaît rien, a même été appelée « atome d'électricité », et peut-être ce terme a-t-il quelque signification. Cette unité naturelle d'électricité est extrêmement petite, c'est environ le cent millionième de l'unité électrostatique ordinaire, ou moins du cent trillionième d'un coulomb. »

L'atome avec sa charge s'appelle un ion. La charge considérée isolément, sans l'atome, a été appelée par le D[r] Johnstone Stoney un électron ou unité électrique naturelle.

Ce que l'électrolyse peut nous apprendre avec beaucoup d'exactitude, c'est le rapport de la charge à la masse de substance avec laquelle elle est associée. La quantité de substance considérée n'intervient pas : que ce soit 100 atomes ou un seul, que ce soit un atome, un gramme ou une tonne, la quantité d'électricité associée avec elle dans l'électrolyse et libérée par la décomposition de la substance, croît dans la même proportion ; le rapport est constant et, s'il est connu pour un corps, il est connu pour tous.

C'est ce rapport qu'on appelle équivalent électrochimique du corps. Les lois de Faraday nous apprennent que si cet équivalent est mesuré pour un corps il est connu pour tous, parce que la charge de toutes les sortes d'atomes est la même, à un multiple simple près ; et, par suite, il n'y a à considérer, dans la détermination des équivalents électrochimiques, que le poids atomique ou les proportions de la combinaison qui forment la substance. Ainsi, l'équivalent électrochimique de l'oxygène est 8 fois plus grand que celui de l'hydrogène, celui du zinc 32 1/2 fois et celui de l'argent 108 fois. On peut ainsi choisir, pour la détermination de l'équivalent électrochimique, le corps qui se prête aux mesures les plus exactes, et Lord Rayleigh a montré que ce corps est le nitrate d'argent. Il a constaté que lorsqu'on fait passer un courant de 1 ampère entre une anode d'argent et une cathode de platine à travers une solution de nitrate d'argent, le poids de la cathode augmente de 4,025 gr par heure. Donc, l'équivalent électrochimique de l'argent est

$$\frac{4{,}025 \text{ grammes}}{1 \text{ ampère-heure}}.$$

L'équivalent électrochimique de l'hydrogène étant le 1/108 de cette quantité, est donné par

$$\frac{4{,}025 \text{ grammes}}{108 \text{ ampères-heure}} = \frac{4{,}025}{108 \times 3600} \text{ C.G.S.} = 0{,}00001035 \text{ C.G.S.} = \frac{1}{96\,600} \text{ gramme par coulomb.}$$

Donc, le rapport d'un atome d'électricité à un atome d'hydrogène est 9660 $\mu^{-1/2}$ C. G. S., ou environ $10^4 \sqrt{\frac{\text{centimètres}}{\mu \text{ grammes}}}$, la constante inconnue μ s'introduisant nécessairement parce que nous comparons des quantités mesurées de façons différentes, l'Electricité et la Matière.

La partie numérique de cette quantité nous est connue assez exactement, c'est-à-dire

aux erreurs expérimentales près. Pour aller plus loin, il faut évaluer la masse d'un atome; cela a été fait de bien des manières, et le Dr Johnstone Stoney, Loschmidt, Lord Kelvin surtout nous ont appris que la masse d'un atome d'eau est approximativement $1 \text{ gr} \times 10^{-24}$. Par suite, celle d'un atome d'hydrogène est environ $1 \text{ gr} \times 10^{-25}$ et l'unité de charge électrique est 10^{-21} en unités électromagnétiques C. G. S., ou 10^{-10} en unités électrostatiques, ou 10^{-20} en coulombs.

« J'ai mis en lumière, dit M. Lodge, cette question du rapport de m à e ou de e à m, à cause du rôle considérable qu'elle joue dans ce qui va suivre. Les valeurs absolues sont moins importantes pour nous que le rapport; elles ne sont d'ailleurs connues qu'approximativement, tandis que le rapport est connu avec une grande exactitude : il est égal à 9660 en unités électromagnétiques pour l'hydrogène, ou environ 10^4.

» Voici donc, brièvement résumé, ce que nous apprend la conduction électrolytique : tout atome porte avec lui une certaine charge définie ou unité électrique; les monades en portent une, les diades, deux, les triades, trois, mais jamais une fraction. Dans les liquides, ces charges sont associées aux atomes en proportions définies et ne peuvent en être séparées qu'aux électrodes. Le courant se compose d'une suite continue de ces charges circulant avec les atomes, les atomes portant les charges, ou les charges entraînant les atomes, selon le point de vue d'où l'on veut considérer le phénomène. »

Conduction dans les gaz. Rayons cathodiques. — L'auteur décrit ici les phénomènes qui se produisent dans le tube de Crookes.

Nature des rayons cathodiques. — Après avoir rappelé les phénomènes calorifiques, lumineux, mécaniques, auxquels donnent lieu les rayons cathodiques, l'auteur remarque : dans le tube à vide parcouru par des décharges électriques, la trajectoire des particules est orientée dans le sens des potentiels décroissants, comme dans l'électrolyse ordinaire, mais, tandis que dans ce dernier cas les particules, rencontrant continuellement des obstacles, circulent très lentement, elles peuvent, dans les gaz très raréfiés, parcourir librement un espace de plusieurs centimètres, sans donner lieu alors à d'autres phénomènes visibles que celui de l'espace obscur. Les effets calorifiques, lumineux et mécaniques ne se manifestent qu'aux points où les particules viennent heurter un obstacle.

L'idée d'après laquelle les rayons cathodiques sont formés par des particules chargées en mouvement extrêmement rapide s'appuie sur des phénomènes qui peuvent se résumer ainsi. Le mouvement de ces particules est prouvé par les faits qui accompagnent leurs chocs : moulinets mis en rotation, échauffement du platine, etc. Si elles sont chargées, elles constituent un courant, selon la théorie de Maxwell, et, par suite, doivent pouvoir dévier un aimant ou être déviées par lui. La célèbre expérience faite par Crookes en 1879 a démontré qu'il en est bien ainsi. Il rendit visible la trajectoire d'un faisceau de ces rayons en leur faisant effleurer une couche de poudre phosphorescente déposée sur une lame de mica, puis approcha de ce faisceau un aimant ordinaire en fer à cheval. La trajectoire des rayons fut aussitôt infléchie, ce qui prouve qu'ils sont bien formés par un torrent de particules chargées, se comportant comme un courant électrique.

La façon dont se comportent ces particules chargées semblait indiquer qu'elles devaient être, en certains cas, plus petites que les atomes, car il paraissait peu probable que les effets observés pussent être produits par des atomes matériels. On se rappela alors que certains physiciens, parmi lesquels le Dr Johnstone Stoney, avaient cru que les charges électriques étaient condensées autour des atomes, leur servant comme de satellites, de sorte que les particules en mouvement pourraient être non pas des atomes chargés, mais des charges sans atomes, séparées par la violence de la décharge. Ces charges, dégagées

des atomes matériels, seraient encore soumises à la même force électrique qui les sollicitait auparavant, ce qui expliquerait leur vitesse énorme. C'est à ces charges isolées, constituant l'unité de charge ou la charge d'un atome qu'on a donné le nom d' « électrons », et, quand on parle d'un électron, on entend par là cette charge électrique, isolée, jusqu'ici purement hypothétique, tandis que le terme « ion » désigne l'atome et sa charge réunis.

Donc, si les particules en mouvement qui constituent les rayons cathodiques sont des électrons plutôt que des ions, si ce sont des charges séparées (qui, après la séparation, laissent probablement les atomes positivement chargés), leur mobilité extrême et leur grande vitesse sont parfaitement naturelles. On comprend que, sans être matérielles au sens ordinaire du mot, elles puissent avoir certaines des propriés de la matière, celles du moins qui dérivent de l'inertie, puisque, comme on l'a vu, une charge électrique possède une certaine espèce d'inertie. Ainsi, ces électrons en mouvement, ayant une masse, pourraient mettre en mouvement des moulinets; ayant une énergie cinétique, ils pourraient échauffer un fragment de platine; enfin, brusquement arrêtés par un obstacle, ils pourraient donner lieu à des phénomènes de phosphorescence et même à la radiation connue sous le nom de rayons X. Mais l'existence de cette dernière propriété doit être démontrée clairement à l'aide des principes de l'électricité.

Accroissement d'inertie dû à un mouvement très rapide. — Il y a lieu d'examiner si, sur un corps électrisé, la distribution de la charge et, par suite des lignes de force, reste constante pendant un mouvement rapide. Car, s'il en était autrement, l'inertie due au mouvement latéral des lignes de force pourrait être altérée aussi.

Si par exemple les lignes de force se concentraient vers l'équateur (le plan normal à la direction du mouvement), celle des composantes de leur mouvement qui est propre à exciter un champ magnétique devient plus grande; en outre, puisque par l'effet de cette concentration les deux champs augmentent d'intensité, le transport d'énergie tout entier (VEH) devient plus grand et l'inertie croît.

Il se peut donc que l'inertie électrique dépende en quelque sorte de la vitesse. La théorie indique, en effet, un accroissement de cette inertie aux très grandes vitesses, et M. Heaviside a calculé la valeur de cet accroissement.

On observera que, lorsqu'une charge électrique se déplace, elle engendre des lignes de force magnétiques circulaires. Ces lignes ne sont pas fixes; elles se déplacent avec la même vitesse que le corps et, par conséquent, donnent naissance à de nouvelles lignes électrostatiques, c'est-à-dire qu'elles produisent un déplacement d'électricité dans le sens qui s'écarte de l'axe, et cet effet se superpose au déplacement radial (s'éloignant ou s'approchant du centre) dû à la charge elle-même.

Aux vitesses ordinaires et même aux grandes vitesses, cet effet électrique est insignifiant, mais il existe, et l'on doit en tenir compte quand la vitesse devient excessivement grande. Il devient prépondérant quand la vitesse approche de celle de la lumière. Il a pour résultat de modifier la distribution de la charge d'électricité, qui s'écarte des pôles et se concentre vers l'équateur. Elle y serait concentrée tout entière si la vitesse atteignait celle de la lumière. La théorie complète montre qu'en ce cas l'inertie serait infinie. Mais si la vitesse du mouvement est, par exemple, dix fois moindre que celle de la lumière, la perturbation est déjà perceptible et l'inertie doit être augmentée d'environ 1 p. 100. Cette vitesse est celle des projectiles cathodiques dans le tube à vide (30 000 km par seconde).

III. — Détermination de la vitesse et de l'équivalent électrochimique des rayons cathodiques. — La déviation imprimée aux rayons cathodiques par un champ magnétique

transversal ou l'enroulement produit par un champ magnétique longitudinal, permettent évidemment d'essayer l'évaluation de leur vitesse.

Si la vitesse est constante et le champ uniforme, la courbe d'enroulement sera un cercle, qu'on pourra tracer soit directement, comme l'a fait Crookes, en lui faisant effleurer une substance phosphorescente, soit indirectement d'après la position d'un obstacle placé de façon à intercepter les rayons déviés.

Il sera donc facile de déterminer le rayon de courbure r, et la théorie se ramène simplement à écrire que la force magnétique H, qui agit sur l'élément de courant eu, est la force centripète ou de déviation, nécessaire pour vaincre l'inertie mécanique des particules :

$$\frac{mu^2}{r} = \mu e u H \qquad \text{d'où :} \qquad \left(\frac{m}{e}\right) u = \mu H r$$

c'est-à-dire que le rapport $\frac{e}{m}$ est à la vitesse des particules comme la courbure de leur trajectoire est à l'intensité du champ qui l'infléchit.

Les deux facteurs du second membre de cette équation sont directement mesurables (si on laisse μ indéterminé selon la convention ordinaire, ou, pour mieux dire, si l'on prend pour mesure de H la densité de flux d'induction et non l'intensité de champ), mais les deux facteurs du premier membre sont inconnus; il faut donc faire une hypothèse sur l'un des deux, ou recourir à une expérience différente.

Supposons, comme l'ont fait beaucoup d'expérimentateurs, que la vitesse u soit celle des atomes dans les gaz aux températures ordinaires; on trouve alors pour $\frac{e}{m}$ une valeur qui n'est pas très différente de celle qu'on mesure par l'électrolyse des liquides, c'est-à-dire 10^4 C. G. S. Ou réciproquement, si l'on prend pour $\frac{e}{m}$ la valeur électrolytique, la vitesse qu'on en déduit pour les rayons cathodiques convient tout à fait à des atomes matériels.

C'est là cependant un piège. Ces coïncidences accidentelles retardent gravement les progrès scientifiques par la satisfaction illusoire qu'elles donnent à l'esprit et qui dure jusqu'au moment où une connaissance plus approfondie du sujet fait pressentir qu'une erreur a été commise. C'est ce qui eut lieu dans le cas actuel. La longueur de la trajectoire libre et la puissance de pénétration des rayons cathodiques avaient fait deviner à Lenard et à Crookes que les particules dont ils sont formés n'étaient pas des atomes matériels ordinaires, mais l'assertion opposée était aussi énergiquement soutenue. En 1897, J.-J. Thomson entreprit une sérieuse étude de la question.

Dans le dispositif adopté par lui, les rayons déviés par l'aimant pénétraient dans un récipient isolé, relié à un électromètre et à une capacité connue, de sorte que la charge totale des particules transportées dans un temps donné pouvait être mesurée d'après l'élévation de potentiel observée. A l'intérieur du récipient, les rayons étaient dirigés sur une soudure de pouvoir thermo-électrique connu, reliée par des fils très minces à un galvanomètre. Ce dernier appareil servait donc de calorimètre et permettait de mesurer l'énergie totale des rayons.

Par ce procédé, J.-J. Thomson put faire simultanément les déterminations suivantes :

$$Ne = Q. \qquad N \frac{1}{2} mu^2 = W. \qquad \frac{m}{e} u = \mu H r.$$

Des quatre inconnues qui figurent dans ces trois équations, deux peuvent se ramener à

***

un rapport. Eliminant N, on obtient :

$$u = \frac{2W}{QHr}. \qquad \frac{m}{e} = \frac{Q}{2W}(\mu H r)^2.$$

Si ces brillantes expériences ne firent pas définitivement rejeter l'hypothèse de la nature atomique des rayons cathodiques, elles la rendirent du moins fort improbable. La vitesse des particules, ainsi mesurée, était en effet de l'ordre de 15 000 km par seconde ; elle atteignait même, dans un cas favorable, le dixième de la vitesse de la lumière, et restait toujours de l'ordre de 10^9 C. G. S. Quant à l'équivalent électrochimique, il était de l'ordre de 10^7 C. G. S., soit environ 1 000 fois plus faible que celui de l'hydrogène.

La substitution d'un gaz à un autre dans le tube, le changement des électrodes, ne modifièrent pas cette dernière valeur. *Les rayons cathodiques étaient évidemment indépendants de la nature de la matière soumise à l'expérience.* Ce fait, extrêmement important, montrait que si ces rayons sont d'essence matérielle, la matière qui les constitue est d'une sorte particulière, ne rentrant pas dans les classifications de la chimie ordinaire. Leur vitesse, cependant, dépendait de la différence de potentiel établie entre les électrodes, ce qui faisait supposer qu'ils étaient réellement formés de projectiles mis en mouvement par le gradient de potentiel agissant sur une trajectoire de longueur donnée.

Quoique la vitesse des particules dans les rayons cathodiques, ainsi mesurée, ait été trouvée très grande, leur énergie n'était que modérée et, par suite, leur masse totale extrêmement minime. Leur charge électrique, cependant, était considérable. Dans l'espace d'une seconde, elles élevaient de plusieurs volts, parfois de 20 volts, la différence de potentiel entre les armatures d'un condensateur de 1,5 microfarad ; elles pouvaient, dans le même espace de temps, élever de 2° C. la température d'un calorimètre, dont la capacité calorique était de 4 mgr d'eau. Néanmoins, leur masse était si faible que si l'on avait voulu en réunir une quantité pondérable, on n'en aurait obtenu, en cent ans, qu'un trentième de milligramme. Elles étaient animées d'une vitesse cent mille fois plus grande que celle des balles de fusil ; c'est la plus grande qu'on ait jamais observée dans la matière, si toutefois ces particules sont matérielles. Leur équivalent électrochimique fut trouvé environ mille fois plus faible que celui qu'on observe dans les liquides, c'est-à-dire que la charge associée avec chaque particule parut être mille fois plus grande, proportionnellement à la masse, que la charge associée avec un ion électrolytique, même avec un ion d'hydrogène.

Si donc les particules étaient réellement des atomes, on était contraint d'admettre que ces atomes portaient une charge extraordinairement forte. Mais la plupart des personnes qui prirent part à ces travaux penchèrent à croire que la charge des particules était la même que celle des atomes dans l'électrolyse ; dès lors, supposant que les expériences fussent exactes et correctement interprétées, il fallait en conclure que la masse associée à la charge ionique dans les rayons cathodiques devait être mille fois plus petite que la masse d'un atome d'hydrogène, auquel cas les projectiles cathodiques pourraient être regardés comme les électrons eux-mêmes, ou atomes d'électricité, jusqu'ici hypothétiques. Mais il serait téméraire d'appuyer une conclusion de cette importance sur d'aussi faibles présomptions.

Détermination de l'équivalent électrochimique dans le cas des fuites d'électricité sous l'influence de la lumière ultra-violette. — Le même rapport $\frac{m}{e}$ ou du moins un rapport de grandeur tout à fait comparable peut s'obtenir à l'aide de phénomènes qui au premier abord paraissent être de nature différente. Un de ces phénomènes est la propriété que

possède la lumière ultra-violette de décharger l'électricité négative d'une surface métallique ou autre. Hertz a le premier étudié ce sujet; ses recherches ont été continuées par Righi, Elster et Geitel. (Voir un des appendices de l'ouvrage « Signalling without wires », publié par l'*Electrician Co*). Si des rayons ultra-violets, émis par une étincelle électrique ou une flamme, rencontrent une surface électrisée négativement, ils y déterminent en général une fuite d'électricité. On peut recueillir la quantité de fluide ainsi échappée sur un corps quelconque placé en face de celui qui reçoit les rayons, puis l'employer à charger un électromètre de capacité connue et par suite la mesurer. L'auteur a fait de nombreuses expériences sur ce sujet, mais il ne les a pas encore publiées. Or Elster et Geitel ont découvert que l'approche d'un aimant modifie l'intensité de la fuite, selon la direction de ses lignes de force. Les lignes de fuite qui, comme le montra Righi, sont des trajectoires singulièrement bien définies, paraissaient donc subir une déviation magnétique, phénomène qui indiquait que la fuite était due à la propulsion en masse de particules électrisées négativement, analogues à celles des rayons cathodiques [1].

Deux choses sont nécessaires pour que les particules se détachent de la surface : elles doivent être désagrégées par l'afflux des rayons ultra-violets, dont la direction de polarisation a une influence très marquée, et la surface à laquelle elles adhèrent doit être négativement chargée, de façon à les repousser. L'effet ne se produit ni par les rayons ultra-violets seuls, ni par l'électrisation seule; la coopération de ces deux influences est nécessaire.

J. J. Thomson a imaginé une méthode quantitative très ingénieuse, décrite ci-dessous [2]

---

[1] Le vide n'est pas nécessaire pour observer cet effet, mais il le rend plus manifeste et plus exactement mesurable. Ce qui distingue ce cas de celui du tube à vide ordinaire, c'est qu'ici l'on n'a pas à appliquer de force électromotrice ni de gradient de potentiel élevé et par suite qu'il ne se produit rien de semblable à une décharge disruptive; la fuite n'a lieu, en effet que lorsque les molécules ont été mises en mouvement par les vibrations, probablement synchrones, de la lumière ultra-violette et que l'adhérence de la charge négative, ou de certains corpuscules négativement chargés, a été ainsi relâchée.

[2] J.-J. Thomson employa dans ce but l'appareil connu qui comprend une plaque de zinc chargée négativement, sur laquelle on dirige les rayons ultra-violets émis par une lampe à arc placée à quelque distance. Entre la lampe et la plaque on interpose une lame de quartz et une pièce de gaze métallique placée parallèlement à celle-ci et reliée à un électromètre. La distance entre la plaque de zinc et la gaze métallique est variable et l'expérience consistait à observer la quantité d'électricité transmise par la plaque à la gaze sous l'influence des rayons, d'abord sans flux magnétique, ensuite en faisant agir transversalement dans la région qui sépare la plaque de la gaze, un champ magnétique d'intensité connue (figure 1).

Un petit calcul très élégant lui montra que les trajectoires des particules soumises à l'influence magnétique devaient être des *cycloïdes* dont les cercles générateurs dépendaient du rapport $\frac{m}{e}$ aussi bien que du rapport $\frac{E}{H^2}$, c'est-à-dire de l'équivalent électrochimique cherché, du rapport du champ électrique au champ magnétique et de l'intensité absolue du champ magnétique.

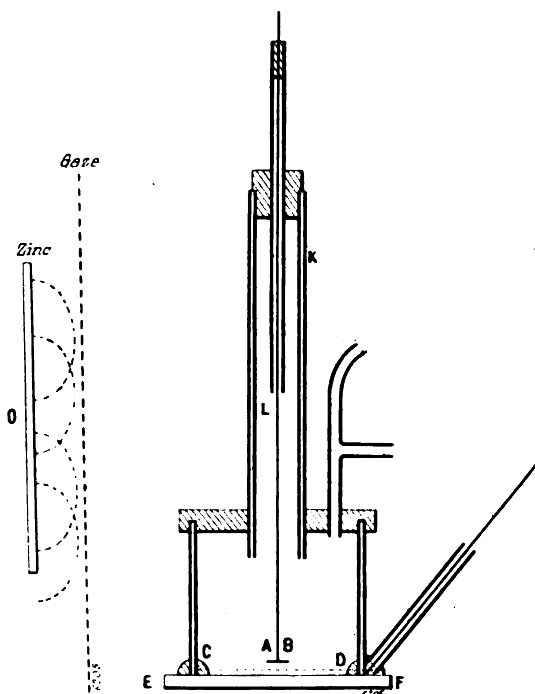


Fig. 1 et 2.

Ce calcul est le suivant. Supposons qu'entre la plaque de zinc et la gaze, placées très près l'une de l'autre, existe une différence de potentiel $(V-V_1)\,d = E$, et soit un champ magnétique, de densité d'induction H, appliqué

pour appliquer cette expérience à la mesure de l'équivalent électrochimique des particules chargées. Dans ce cas encore, le rapport $\frac{e}{m}$ fut trouvé égal à 10^7 C. G. S. ou plus exactement à 7×10^6 C. G. S. Ce résultat s'accorde fort exactement avec les valeurs trouvées par J.-J. Thomson, et confirmées plus tard par Lenard et Kaufmann, pour les particules des rayons cathodiques.

C'est seulement pour les projectiles *positifs* que la mesure de ce rapport a donné la même valeur que dans l'électrolyse. Goldstein découvrit, derrière la cathode du tube à vide, des rayons qu'il appela *Kanal-Strahlen*. Ewers démontra que ces rayons étaient formés de projectiles chargés d'électricité positive et Wien les étudia en mesurant la légère déviation magnétique à laquelle on peut les soumettre. Il montra que ces projectiles se meuvent lentement et que dans l'hydrogène leur rapport $\frac{e}{m}$ est de l'ordre 10^4 ; il a donc la même valeur que pour un atome ou ion d'hydrogène. Ce rapport varie selon la substance avec laquelle il est mesuré ; sa valeur est toujours approximativement égale à la valeur fournie par l'électrolyse pour la substance considérée. Des mesures faites par J.-J. Thomson sur ces particules positives ont confirmé les résultats obtenus par Wien.

On est ainsi nécessairement amené à la conclusion que les particules chargées d'électricité positive sont des *ions*, composés d'une unité de charge positive associée avec un atome, tandis que les projectiles négatifs paraissent n'être formés que de fragments ou

---

normalement au plan du tableau. Si les plaques sont situées dans le vide, de façon qu'aucune résistance du milieu n'intervienne, le mouvement d'une particule chargée, détachée de la plaque de zinc et projetée vers la gaze s'exprimera par :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \mathrm{E}e - \mathrm{H}e \frac{dy}{dt} \qquad m \frac{d^2y}{dt^2} = \mathrm{H}e \frac{dx}{dt}$$

les valeurs initiales de x, y, $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$, étant toutes nulles. Dans ces conditions la solution de ces équations donne :

$$x = a(1 - \cos bt) \qquad y = a(bt - \sin bt)$$

où

$$a = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{H}^2} \frac{m}{e}, \qquad b = \mathrm{H} \frac{e}{m}.$$

On voit que x oscille périodiquement selon une loi sinusoïdale entre les valeurs extrêmes o et $2a$, tandis que la valeur de y est à la fois périodique et croissante : sa période est $\frac{2\pi}{b}$ et son accroissement à chaque période $2\pi a$. En d'autres termes, ces équations représentent une *cycloïde* tracée par un point d'un cercle de rayon a, roulant sur la plaque de zinc.

On ne connaît pas de moyen d'observer cette trajectoire invisible et purement théorique, mais puisque toutes les particules doivent avoir des particules semblables, il est clair qu'il doit exister une distance critique en deçà da laquelle la gaze reçoit et intercepte toutes les particules, tandis qu'au delà, aucune n'arrive jusqu'à elle. Dans le figure, la gaze est représentée juste au delà de la distance critique, de sorte qu'elle ne recevrait aucune charge électrique, malgré l'influence des rayons ultra-violets, mais on pourrait l'amener à portée en diminuant sa distance à la plaque de zinc, ou en renforçant le champ électrique, ou enfin en affaiblissant le champ magnétique. Cette distance critique, facile à mesurer expérimentalement, est indépendante de l'intensité des rayons ultra-violets, elle n'est autre que le diamètre du cercle générateur, $2a$ ou $\frac{2m\mathrm{E}}{e\mathrm{H}^2}$. Telle est la quantité qu'on a pu mesurer par cette ingénieuse méthode. Si l'on connaît E et H, on en déduit $\frac{m}{e}$. L'appareil employé est représenté figure 2.

La mesure expérimentale de la distance critique ne put être faite avec autant de précision que l'indiquait la théorie, à cause de certains effets perturbateurs, dont l'un était la présence d'une petite quantité d'air. On arriva cependant à une exactitude satisfaisante.

d'éléments d'atomes qui, détachés et rendus libres, acquièrent une vitesse prodigieuse, puisque l'accélération à laquelle ils sont soumis est 1 000 fois plus grande que pour un atome d'hydrogène, qui, appesanti comme il l'est par une masse de matière inerte, n'est soumis qu'à la même force de propulsion.

On a peine à s'imaginer la mobilité d'un ensemble de particules qui seraient sujettes à l'accélération ordinaire g due à la pesanteur et dont la masse serait réduite au millième. Dans leur première seconde de chute, ces particules parcouraient, au lieu de 4,8 m, 4800 m. Elles acquerraient en une seconde une vitesse de 9650 m par seconde, presque suffisante pour les entraîner hors de la portée de l'attraction terrestre.

L'accélération à laquelle ces particules sont soumises dans un tube à vide est bien plus grande encore : l'action de la gravitation sur les ions est presque infinitésimale, comparée à celle des forces électriques ordinaires sur leurs charges. Supposons par exemple un champ de 300 volts par centimètre ou 10 unités électrostatiques, ce qui est facile à réaliser dans un tube à vide. La force qui sollicite au mouvement une de ces particules est alors $10 \times 10^{-10} = 10^{-9}$ dyne ; la masse déplacée, s'il s'agit d'un atome d'hydrogène entier, c'est-à-dire si l'on considère une particule positive dans une atmosphère d'hydrogène, est seulement de 10^{-24} gr et par suite l'accélération qu'elle subit est 10^{15} cm par seconde, soit un billion de fois g. Pour une particule négative, dans une atmosphère quelconque, l'accélération serait 1 000 fois plus grande encore.

La vitesse acquise en franchissant une distance de 5 cm sous l'action de cette force s'obtient en prenant la racine carrée de $2fg$; on trouve ainsi 10^8 cm par seconde pour une particule positive, et 3×10^9 cm par seconde pour une particule négative. Les résultats d'observation sont à peu près de cet ordre de grandeur.

On est donc de mieux en mieux fondé à croire que ces unités de charge électrique peuvent exister à l'état libre, peut-être emportant avec elles une partie de l'atome et ce noyau matériel pourrait les faire appeler des corpuscules, peut-être absolument libres. Dans ce dernier cas, ces charges électriques détachées de la matière correspondraient aux entités hypothétiques que l'analyse mathématique désigne sous le nom d'« électrons ».

(*A suivre.*)

P. L.

LES RÉGLEMENTATIONS ÉTRANGÈRES

DES ESSAIS DES MACHINES ÉLECTRIQUES

ET DES TRANSFORMATEURS [1]

Rendement. — Les règles normales allemandes relatives à la définition du rendement ont été complétées à la dernière assemblée du V. D. E.; le § 34 se trouve maintenant libellé comme suit :

Le rendement est le rapport de la puissance recueillie à la puissance fournie. Il peut être déterminé par la mesure directe des puissances ou indirectement par la mesure des pertes. Les méthodes indirectes sont plus faciles à appliquer parce que les erreurs d'observation ont

[1] Voir la première partie dans le précédent numéro, page 84.

moins d'influence; en règle générale, elles sont préférables pour cette raison. Lorsqu'on indique le rendement, on doit désigner la méthode d'après laquelle il doit être ou a été déterminé et il suffit de renvoyer au paragraphe correspondant des présentes règles normales.

L'indication du rendement doit toujours se rapporter à l'échauffement correspondant au service normal

Le rendement doit être indiqué par rapport au genre de service à effectuer (voir Régime).

Sauf stipulation contraire, pour les moteurs à courant alternatif et les transformateurs, le rendement indiqué a besoin d'être atteint seulement avec une tension presque sinusoïdale et, s'il s'agit de systèmes polyphasés, seulement pour les systèmes symétriques.

A défaut d'indications spéciales sur la charge, le rendement s'entend pour la charge normale.

La puissance nécessaire pour l'excitation ainsi que celle dissipée dans le rhéostat de champ doivent entrer dans le calcul à titre de pertes.

Lorsqu'on emploie un mode de refroidissement artificiel, l'on doit signaler dans l'indication du rendement si la puissance nécessaire pour le refroidissement est comptée comme perte. A défaut de cette indication, le rendement s'entend y compris la perte.

M. Dettmar a ajouté dans les *Commentaires* quelques remarques générales destinées à compléter ces règles [1]. Elles se trouvent ainsi en parfaite concordance avec le règlement américain antérieur. Ce dernier indique en effet que, pour les machines à courant alternatif, le rendement doit s'entendre, sauf stipulation contraire, sous l'hypothèse que le courant est en coïncidence de phase avec la tension. Il dit également que toutes les pertes doivent être mesurées à la température correspondant au fonctionnement normal de l'appareil ou ramenées ensuite à cette température. Enfin, pour les machines électriques accouplées à des moteurs à vapeur ou autres, il est aussi d'accord d'exclure les pertes par frottement et ventilation « par suite de l'impossibilité de les mesurer avec une exactitude suffisante » ce qui revient dans ce cas à n'indiquer que le rendement *électrique* (voir à ce sujet l'article de M.-C.-F. Guilbert précité).

Méthodes pour la détermination du rendement. — Tandis que le règlement américain considère successivement les différents genres de machines, suivant la classification adop-

---

[1] La détermination et le calcul du rendement exigeant beaucoup de temps, il serait très minutieux pour les machines à courant alternatif et les transformateurs dont le décalage varie d'après les circonstances extérieures, de devoir effectuer de nouveaux calculs et de nouvelles mesures pour chaque décalage de phase. C'est pourquoi il fut prescrit que le rendement doit toujours être déterminé pour l'égalité de phase entre le courant et la tension, mais il est admissible de s'écarter de cette règle (en vertu du § 1).

Le § 34 stipule que l'indication du rendement doit toujonrs se rapporter à l'échauffement correspondant au service normal. Du sens littéral de cette phrase il résulte déjà que les essais de rendement ne doivent pas simplement se faire *à chaud*. Si toutefois des difficultés s'y opposent, il est permis de faire ces essais sous une autre température, seulement on doit alors prendre soin que les valeurs soient rapportées à l'état normal de température par un calcul rigoureux.

Les principales difficultés qui s'opposent à la détermination du rendement résident, d'une part dans l'accouplement direct des machines électriques avec des moteurs, d'autre part dans la connaissance insuffisante des pertes additionnelles.

Le premier point est basé sur ce que, dans l'accouplement direct, il n'est pas possible de déterminer la puissance recueillie ou fournie sans devoir modifier considérablement l'ensemble. En outre, il existe de nombreuses incertitudes relativement à la répartition de la perte par frottement. Par exemple pour une dynamo à vapeur, sera-ce le fournisseur de la machine à vapeur ou celui de la dynamo qui prendra pour lui le frottement des paliers ou du palier commun ? De même pour les dynamos-volants, on ne sait si la perte due à la ventilation doit être attribuée à la machine à vapeur ou à la dynamo. Aussi la commission a-t-elle établi cette distinction essentielle : pour les machines qui fonctionnent sans l'aide de paliers étrangers, le frottement doit être considéré comme appartenant à la machine électrique, tandis que pour les machines qui ne peuvent être découplées ou qui ne peuvent fonctionner qu'à l'aide de paliers étrangers, le frottement ne doit pas être compté à la machine électrique.

tée, examine pour chacun d'eux les diverses pertes à déterminer et donne une méthode uniforme pour leur mesure, la rédaction des règles normales allemandes est tout autre. Elle décrit les différentes méthodes applicables, sans toutefois en imposer aucune, en laissant le choix à l'opérateur qui sera toujours un spécialiste expérimenté et prescrivant seulement, comme les diverses méthodes peuvent conduire à des valeurs différentes du rendement, de mentionner celle d'après laquelle il est ou doit être déterminé. M. Dettmar, dans ses Commentaires, examine l'une après l'autre chacune des méthodes proposées et en fait une critique détaillée, indiquant leurs avantages et leurs inconvénients, la manière de les appliquer et d'en interpréter les résultats, ainsi que les cas dans lesquels l'une ou l'autre est préférable. Ces commentaires pouvant sans nul doute intéresser le lecteur, j'en ai donné ci-dessous une traduction résumée [1].

---

[1] *Méthode électrique directe* (§ 37). — Cette méthode, la plus simple, n'est applicable qu'aux machines qui transforment l'énergie électrique en énergie électrique ainsi qu'aux transformateurs. Elle ne donne lieu à aucune difficulté lorsqu'il s'agit de moteurs-générateurs et de commutatrices à courant continu ; la mesure de la puissance fournie et de la puissance recueillie peut se faire avec une grande exactitude. Elle convient aussi aux transformateurs, aux moteurs-générateurs et aux commutatrices de courant continu en courants alternatif et triphasé, de courant alternatif en courant triphasé et inversement, lorsque ces machines sont de petite ou moyenne puissance et ne sont pas construites pour des tensions trop élevées. Pour les machines de même genre mais de grande puissance et les grands transformateurs, son application donne lieu à de nombreuses discussions relativement à l'exactitude de la mesure. Si la machine à essayer est à haute tension, il est difficile d'effectuer les mesures ; si elle est à basse tension, l'intensité est très grande et par suite la mesure des watts du côté du courant alternatif ou triphasé est très inexacte par suite du manque de précision des wattmètres actuels pour grandes intensités. Dans de tels cas, il est préférable de déterminer le rendement au moyen d'une méthode indirecte.

Méthode électrique indirecte (§ 38). — Inexacte théoriquement, elle possède l'avantage de pouvoir s'employer pour de grandes machines, comme il suffit d'appliquer la perte à tout le système. L'inexactitude théorique provient de ce que les divers genres de machines se comportent différemment, suivant qu'elles sont employées comme génératrices ou comme moteurs. Par contre cette méthode de mesure donne une exactitude relativement grande car les erreurs de mesure ne s'élèvent qu'à quelques pour cent des pertes et n'ont par suite qu'une faible influence sur le résultat total. Ceci fait que, malgré son imperfection, elle peut s'employer dans nombre de cas.

Méthode directe du frein (§ 39). — Cette méthode présente également le grand avantage de la simplicité, mais elle laisse souvent à désirer au point de vue de l'exactitude. Celle-ci dépend beaucoup du frein employé, à la construction duquel on attache malheureusement pas toujours une importance suffisante. L'emploi de cette méthode est du reste restreint à la grandeur de la machine à essayer parce que pour de grandes forces il est difficile de mesurer exactement la puissance convertie en chaleur. Il y eut même une forte tendance à la supprimer complètement à cause des inexactitudes auxquelles elle est sujette, mais on y renonça parce qu'elle est familière au constructeur de machines à vapeur et que dans ces derniers temps on a construit des freins perfectionnés permettant d'atteindre une plus grande précision. (Voir les freins de Siemens et Halske, de Pasqualini, de Feussner, de Rieter, décrits dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, n°s 45 et 47, p. 189 et 265, 9 et 23 novembre 1901.)

Il y a également lieu d'insister ici sur une autre circonstance qui peut amener des erreurs dans les mesures au frein et qui est inhérente à la mesure elle-même : la puissance totale fournie par le moteur à essayer étant convertie en chaleur, il peut arriver que la chaleur soit transmise par rayonnement à l'induit, aux électros, etc., et que l'on obtienne alors un résultat inexact. C'est pourquoi, lorsqu'on emploie cette méthode, on doit être très prudent, ce qui est toutefois possible en faisant usage d'un système de refroidissement efficace.

Méthode indirecte du frein (§ 40). — Elle permet d'obtenir une plus grande exactitude que la méthode directe (mécanique) du frein, pour autant qu'il est possible d'accoupler directement la machine auxiliaire à la machine à essayer. Comme ce cas se présente rarement, il est permis d'employer une transmission par courroie, mais il en résulte alors d'autres pertes dont on ne peut déterminer exactement la grandeur. On ne doit donc considérer ce moyen que comme un pis-aller et dans de tels cas il sera préférable d'employer la méthode suivante.

Méthode de l'essai à vide (§ 41). — Dans cette méthode il est indiqué que l'on doit mesurer la perte qui se produit lorsque la machine fonctionne au nombre de tours normal et avec l'intensité de champ normale correspondant à la marche en charge. Il faut évidemment sous-entendre que les valeurs trouvées ne doivent pas toujours être notées directement, mais qu'il y a lieu d'effectuer une correction en tenant compte des pertes par effet Joule dans l'induit, les balais et la résistance de contact ; souvent cette correction sera insignifiante, mais il est aussi des cas où elle ne devra pas être négligée.

Pour la détermination de la perte Joule par contact des balais sur le collecteur, on doit veiller en particulier à ce que la résistance de contact soit déterminée pour les diverses intensités à vide. Ce point est très important, car en général l'intensité à vide n'est que d'environ 10 p. 100 de l'intensité à pleine charge et, par suite, la résistance

On ne peut comparer entre elles les deux rédactions, puisqu'elles ne procèdent pas des mêmes principes. Le règlement américain, très clair et très concis, quoique l'on puisse lui

de contact est approximativement 5 à 7 fois plus élevée que pour l'intensité correspondant à la marche en pleine charge.

Le frottement des paliers qui varie beaucoup avec la température doit avoir atteint une valeur constante avant de commencer l'essai. C'est pourquoi on opère d'autant mieux en faisant tourner la machine à tension constante et en observant le courant à vide pendant la période d'entraînement. Lorsqu'aucune variation ne se produit plus, ce qui arrive en général après trois ou cinq heures, le frottement des paliers est constant. Qu'il soit du reste encore signalé à ce sujet qu'il est nécessaire d'entraîner la machine avec le nombre approximatif de tours auquel le rendement doit être déterminé. Ceci résulte de ce que la température des paliers dépend exclusivement du nombre de tours de l'arbre et, comme le frottement dépend en grande partie de la température, l'influence du nombre de tours auquel la machine est entraînée est naturellement très grande.

Un autre point très important sur lequel on doit veiller lors de la réception est que le courant absorbé par la machine lorsqu'elle tourne à vide ne dépend pas seulement des pertes inhérentes à celle-ci, mais aussi de ce qu'il se produit un état d'équilibre par rapport à la puissance de travail amassée dans la partie tournante. Lorsque par exemple le nombre de tours est trop faible et que l'on doit modifier l'excitation pour arriver au nombre de tours exact, la consommation de courant augmente d'abord brusquement, puis décroît peu à peu dès que l'induit a acquis une puissance de travail correspondant à un nombre de tours plus élevé. Les machines qui possèdent de grandes masses oscillantes ou qui sont reliées directement au volant peuvent exiger un temps plus long pour atteindre l'état d'équilibre et l'on doit soigneusement veiller sur ce point en faisant la lecture.

Le calage des balais doit être celui correspondant à la marche sans étincelles lorsque la machine fonctionne à vide. Il ne doit pas être modifié au cours des mesures. Comme d'après l'expérience le courant de la machine marchant à vide oscille assez fort, on fera plusieurs lectures et, dans le cas où ces lectures différeront, on prendra la moyenne.

Dans la détermination de l'intensité normale du champ, on doit tenir compte de la chute de tension dans l'induit et de la résistance de contact, de sorte que pour les génératrices l'essai doit se faire avec une tension relativement plus élevée, pour les moteurs avec une tension relativement plus faible que la tension aux balais correspondant à l'intensité de courant normale.

Dans le cas de machines compound, il n'est pas nécessaire de mettre en circuit l'enroulement série pour l'essai, comme il est possible d'obtenir l'intensité de champ normale sans autre moyen que le réglage de l'enroulement en dérivation. Pour les machines avec excitation en série, il est nécessaire d'employer une source de courant étrangère pour exciter les électros.

La résistance de contact dépend de l'intensité, de la pression des balais et aussi, dans certains cas, de la vitesse; aussi sa détermination pourrait-elle sembler liée à de grandes difficultés. C'est pourquoi, afin de les éviter, on proposa d'admettre le calcul de la résistance de contact basé sur des courbes déterminées, telles que par exemple celles publiées par Arnold ou celles données par l'auteur. A cette solution s'oppose toutefois le résultat des recherches de l'auteur d'après lesquelles la résistance de contact dépendrait de l'exécution *mécanique* du collecteur. Ainsi qu'il l'a mis en évidence, la résistance de contact est complètement constante depuis une très faible vitesse du collecteur jusqu'à la plus grande vitesse qui soit employée pratiquement, en supposant que le collecteur tourne bien rond; par contre cette résistance varie dans de grandes limites dès que le collecteur voile. Or, comme alors la résistance de contact ne dépend plus seulement de la vitesse, mais aussi de l'importance du balourd ainsi que du poids des balais et des porte-balais, il n'est pas possible d'en tenir compte d'une manière qui puisse être généralement admise et par suite ce fait oblige à mesurer chaque fois la résistance de contact.

La principale difficulté pour l'exécution de cette mesure, en supposant qu'on y procède quand la machine est en marche, ce qui est absolument nécessaire, a pour cause la tension rémanente de la machine. L'auteur a indiqué dans l'*E. T. Z.* une méthode qui permet de mesurer très facilement la résistance de contact à la vitesse normale pour toutes les machines à courant continu à plus de 2 tiges de balais et sans que l'on puisse avoir à craindre d'erreurs par suite de la tension rémanente, On couple en tension 2 tiges de balais de même polarité et on envoie le courant à travers. Une seule spire de l'induit, qui se trouve en outre dans la zone neutre, est alors traversée par le courant de mesure de sorte que toute erreur est complètement évitée. Si on veut marcher plus sûrement, on peut encore faire une seconde mesure en renversant le sens du courant : on trouvera ainsi une deuxième valeur pour la résistance de contact et la moyenne des deux valeurs ainsi obtenues sera absolument exempte d'erreur. Si on effectue cette mesure sur quelques tiges de balais, on obtiendra sûrement pour la résistance de contact, une valeur qui correspondra avec une grande exactitude aux rapports réels. En opérant sur les valeurs ainsi mesurées, on pourra facilement obtenir la résistance de contact totale.

Une autre méthode fréquemment employée consiste à appuyer un balai isolé sur le collecteur, mais elle entraîne avec elle une variation de la surface d'appui et peut causer facilement de grandes erreurs. Ceci arrive surtout avec les balais en charbon, attendu qu'un faible déplacement peut porter la valeur de la résistance de contact au double et à plus.

Pour les machines qui ne possèdent que deux tiges de balais, l'emploi de la méthode mentionnée ci-dessus est

adresser quelques critiques de détail, ainsi que l'a montré M. Guilbert, se prête bien à une application pratique, parce que suivant le genre de machine à essayer on y trouve aussitôt

---

naturellement impossible. Si le collecteur tourne bien rond, la mesure pourra être effectuée avec une faible vitesse, par exemple celle que l'on obtiendrait en le faisant tourner à la main. En outre la tension rémanente ne sera pas grande et l'erreur qui en résulte peut être tout à fait éliminée en inversant le courant de mesure. On obtient alors pour la résistance de contact deux valeurs dont la moyenne correspond à peu près à la valeur exacte. Si le collecteur ne tourne pas bien rond, on doit suivant ce qui a été dit plus haut déterminer la valeur de la résistance de contact à sa vitesse normale. On peut encore éviter ou réduire l'influence perturbatrice de la rémanence en affaiblissant autant que possible le magnétisme rémanent. La différence restante et qui ne se peut éliminer entièrement, peut du moins être rendue négligeable en effectuant une nouvelle mesure avec le courant inversé.

Lorsque les porte-balais sont munis de blocs de charbon à grande surface, ceux-ci n'acquièrent un contact parfait qu'après un certain temps de service. Comme les essais de rendement s'effectuent le plus souvent aux ateliers du constructeur, la mesure de la résistance de contact pourrait facilement conduire à des valeurs défavorables, vu qu'il n'est pas toujours possible de faire fonctionner la machine un laps de temps suffisamment long. C'est pourquoi la commission a jugé admissible d'effectuer le cas échéant, la détermination de la résistance de contact indépendamment des autres mesures. Toutes les autres mesures ou essais peuvent donc être exécutés dans la salle d'essais, tandis que la mesure de la résistance de contact se fera dans l'installation après quelque temps de service.

La résistance de contact dépendant en grande partie de l'intensité du courant avec laquelle elle est déterminée, on doit veiller à employer l'intensité exacte dans la mesure. Si l'on a à déterminer le rendement pour diverses charges, la résistance de contact devra aussi être déterminée avec les intensités qui correspondront à ces charges.

La mesure de la résistance de l'induit, des inducteurs, etc., doit naturellement se faire à chaud, c'est-à-dire à l'état de température correspondant à la puissance normale de la machine; aussi est-il préférable d'entreprendre leur détermination en même temps que l'essai de fonctionnement. Si toutefois cela n'est pas possible, il est aussi permis de mesurer les résistances à froid et de déterminer l'augmentation par un calcul qui ne puisse être discuté.

En ce qui concerne les moteurs asynchromes avec bagues de contact, la perte dans l'induit secondaire dépend comme on le sait de la résistance des connexions entre les bagues de contact et le rhéostat de démarrage. Il est par conséquent supposé qu'ici la longueur des connexions correspond aux proportions normales, sauf indications contraires. Si dans ce cas le rhéostat était placé à une distance anormale, le résultat serait trop défavorable. Il est alors admissible de placer le rhéostat de démarrage, pour la mesure du rendement, à proximité du moteur.

Pour les essais des génératrices à courant alternatif et triphasé ainsi que des moteurs synchrones, on peut aussi naturellement employer la méthode à vide, seulement il faut veiller à ce que l'excitation soit chaque fois réglée de telle sorte que la consommation de courant soit minimum, ce qui correspond à une égalité de phase entre le courant et la tension.

La méthode de l'essai à vide peut aussi s'employer pour les transformateurs. Lorsque ces appareils sont construits pour de grandes intensités et que le cuivre n'est pas très subdivisé, on doit toutefois tenir compte de ce que des courants de Foucault s'engendrent dans le cuivre avec la charge. Leur valeur doit donc être déterminée, ce qui peut se faire en mesurant à l'aide du wattmètre les pertes par effet Joule pour l'intensité exacte. Les pertes dues aux courants de Foucault dans le cuivre sont alors comprises dans la valeur ainsi mesurée. Les wattmètres pour les grandes intensités étant inexacts, on placera le wattmètre en circuit avec l'enroulement à fil fin et on court-circuitera l'enroulement à gros fil.

(Tout ce qui a été dit dans cette méthode au sujet de la détermination des pertes additionnelles s'applique également aux méthodes suivantes).

Méthode du moteur auxiliaire (§ 42). — Elle est une modification de la méthode de l'essai à vide et s'emploie dans le cas où la mesure à vide ne peut se faire directement, par exemple, lorsqu'on ne dispose d'aucune source de courant du même genre que celui de la machine à essayer.

Il faut éviter autant que possible la commande pour courroie, car il est presque impossible de déterminer la perte due à la raideur de celle-ci. On doit cependant en tenir compte de telle manière que cette perte seule reste à estimer. Les pertes qui résultent du glissement sont mesurables et doivent naturellement être déterminées. On devrait par suite, chaque fois qu'il est possible, accoupler directement le moteur auxiliaire et n'employer la commande par courroie que lorsqu'elle est inévitable et que l'on ne peut employer d'autres méthodes.

On doit tenir compte des pertes dans le moteur auxiliaire, pertes qui varient suivant que la machine est excitée ou non, à l'exception des pertes auxiliaires. Par suite l'application de cette méthode est assez compliquée de sorte qu'on évitera de l'employer. Elle est toutefois commode dans le cas où deux machines se trouvent montées sur le même arbre, par exemple un alternateur et son excitatrice.

Méthode de l'indicateur (§ 43). — Pour les dynamos à vapeur dont la dynamo est pourvue de deux paliers et peut être découplée, la détermination des pertes à vide au moyen de l'indicateur est admise, les diagrammes de la machine à vapeur étant relevés avec la dynamo accouplée et excitée, puis après qu'elle aura été découplée. (En ce qui concerne le relevé des diagrammes, voir plus loin).

****

quelles sont les pertes à mesurer et comment elles doivent l'être. Mais d'un autre côté comme la méthode générale qu'il donne pour chaque genre de machine ne peut toujours s'employer, les règles normales allemandes et leurs *Commentaires* qui énumèrent et décrivent d'autres méthodes sont d'une grande utilité et complètent ainsi très heureusement la réglementation américaine.

La méthode que préconise cette dernière est celle bien connue de l'essai à vide, dite

---

Pour les machines qui ne peuvent fonctionner sans le secours de paliers étrangers, on doit, ainsi qu'il a déjà été mentionné, faire abstraction de la perte par frottement pour la détermination du rendement à part.

De nombreuses objections ont été émises contre la méthode de l'indicateur et cela par les constructeurs de machines à vapeur eux mêmes. Mais d'un autre côté elle donne parfois d'excellents résultats : aussi ne doit-on pas hésiter à l'admettre.

Si on travaille avec de la vapeur étranglée de telle façon que l'on puisse obtenir le remplissage exact, on obtiendra aussi de bons résultats en prenant des précautions suffisantes. En tous cas, cette méthode, qui met en regard l'un de l'autre deux diagrammes à vide, vaut toujours mieux que la méthode généralement usitée pour la détermination du rendement de la machine à vapeur au moyen de diagrammes relevés à vide et à pleine charge, vu que dans ce cas on ne peut comparer que des diagrammes entièrement différents. Pour les dynamos à vapeur accouplées directement, elle est incontestablement la plus simple que l'on puisse imaginer.

Méthode des pertes séparées (§ 44). — Avec cette méthode on détermine ensemble par la marche à vide les pertes par frottement, hystérésis et courants de Foucault et l'on en déduit alors celle due au frottement. Les pertes à vide sont mesurées pour le nombre de tours normal et sous plusieurs tensions différentes; on devra descendre à la plus faible tension possible, relever également les valeurs observées à la tension normale et si possible à 25 p. 100 au-dessus. On porte graphiquement les valeurs ainsi obtenues, valeurs qui doivent naturellement être corrigées et, en prolongeant la courbe, on peut déterminer la perte qui se produirait si on faisait fonctionner la machine à « zéro volt ». Mais comme à zéro volt la perte par hystérésis et courants de Foucault doit être naturellement égale à zéro, la valeur obtenue en prolongeant la courbe donne la valeur de la perte par frottement.

Au sujet de la méthode graphique, un moyen qui permet d'en augmenter l'exactitude et qui a d'ailleurs déjà fait l'objet de divers articles publiés dans l'*E. T. Z.* consiste, d'après le Dr Breslauer, à porter les pertes à vide non comme fonction de la tension mais comme fonction du carré de la tension. Les points de la courbe correspondant aux basses tensions étant plus rapprochés, on doit prolonger la courbe moins loin, ce qui fait que l'exactitude se trouve augmentée.

La méthode des pertes séparées, de même que la méthode de l'essai à vide, n'est d'ailleurs pas seulement applicable au courant continu mais elle peut également s'employer pour l'essai des machines à courant alternatif et triphasé. Pour les moteurs à courant triphasé, elle est dans certains cas sujette à de légères erreurs.

En outre, ainsi que M. Benischke l'a démontré à la neuvième assemblée annuelle, la valeur que l'on obtient pour le frottement est trop faible. La commission n'estima cependant pas nécessaire de modifier le § relatif à cette méthode et ce pour les raisons suivantes : 1° l'écart dans la détermination de la valeur du frottement est trop faible pour pouvoir exercer sur le rendement une influence *notable* ; 2° il n'existe encore jusqu'à présent aucune méthode qui permette la détermination exacte et *simple* de la valeur du frottement. La proposition de M. Benischke de dire au § 44 : « La machine *peut* être essayée sous plusieurs tensions différentes » au lieu de « la machine *doit* être essayée... » ne pouvait non plus être admise, car on pourrait alors employer pour toutes les autres machines n'importe quelle autre méthode, dont l'exactitude serait encore toujours incertaine. Les règles perdraient ainsi toute unité et l'on ne serait jamais à même de pouvoir fixer d'avance la méthode d'essai à appliquer. La commission considéra comme suffisant d'indiquer dans les *Commentaires* que pour les moteurs à courant triphasé l'emploi de cette méthode est sujet à de *légères* erreurs. Ces erreurs sont d'ailleurs tellement *insignifiantes* que son usage ne soulève aucune objection importante.

Dans nombre de cas, il sera préférable de déterminer les pertes par hystérésis et courants de Foucault à l'aide de la méthode du moteur auxiliaire. Le point essentiel de la méthode est précisément qu'elle permet de séparer la perte due au frottement de la perte par hystérésis et courants de Foucault, parce que la première ne doit pas entrer en ligne de compte dans les machines « non indépendantes ». La différence par rapport à la méthode du moteur auxiliaire ne réside que dans l'application : avec cette dernière on a à mesurer la puissance absorbée par le moteur et la machine à essayer excitée ainsi que par le moteur seul, tandis que la méthode des pertes séparées avec moteur auxiliaire nécessite la mesure de la puissance absorbée par le moteur avec la machine à essayer excitée et par le moteur avec la machine à essayer non excitée.

(Sur la mesure de la résistance de contact on lira avec fruit l'article très étendu de M. G. Dettmar dans l'*E. T. Z.*, n° 22, page 429, 31 mai 1900. — Quant aux pertes dues à la torsion du champ, dont les règles allemandes ne parlent pas, bien qu'elles soient assez grandes pour les machines à angle de calage variable, on consultera également avec intérêt les articles de M. Dettmar et la méthode de mesure, quoiqu'incertaine, qu'il propose dans l'*E. T. Z.* n° 16, p. 252, 1898 et n° 35, p. 733, 1900.)

de Swinburne, dans laquelle les pertes par frottement, ventilation, hystérésis et courants de Foucault sont déterminées ensemble ; les règles allemandes donnent aussi de longs détails sur son application. Mais cette méthode basée notamment sur l'hypothèse de la constance des pertes précédentes à vide et en charge, dont les résultats ne reposent que sur une seule expérience faite à une tension et une vitesse constantes, n'est pas rigoureusement exacte ; en outre il est souvent très utile de connaître séparément les pertes par hystérésis et par courants de Foucault. La méthode des pertes séparées, qui est pour ainsi dire une extention de celle de Swinburne, supplée à son insuffisance et il est regrettable que le règlement américain n'ait pas recommandé son emploi. On sait que M. Mordey et M. Housmann ont indiqué deux manières de l'appliquer. Les règles allemandes prescrivent de faire l'essai à vitesse normale constante et sous tension variable dans de grandes limites ; les *Commentaires* insistent même sur ce dernier point et si, puisque M. Guilbert recommandait antérieurement « d'établir la courbe non seulement pour des tensions voisines de la tension normale, mais pour des tensions les plus basses possibles de façon à pouvoir l'extrapoler jusque l'axe des puissances et de déterminer ainsi les pertes par frottement et ventilation seules dans l'hypothèse naturellement que ces pertes restent constantes avec la vitesse » — si donc les règles allemandes n'ont pas ici le mérite de la nouveauté, elles auront du moins l'utilité d'une confirmation.

Il y aurait encore beaucoup à dire au sujet des autres méthodes proposées par les règles allemandes et de leur application aux divers genres de machines, mais comme les *Commentaires* sont suffisamment étendus, ils rendront cette application plus facile. On peut toutefois exprimer le regret de ne pas voir figurer, parmi ces méthodes, plusieurs autres usitées en France, notamment celles de M. Routin et de M. Blondel pour les alternateurs.

VARIATIONS DE TENSION. — Les règles normales allemandes relatives à la variation de tension (1) des alternateurs ont été modifiées depuis leur première publication. Voici la nouvelle rédaction de 1902, qui remplace les anciens paragraphes 45 à 48.

§ 45. — *On doit entendre par variation de tension d'une génératrice à courant alternatif, la variation de la tension qui se produit quand, à la tension normale aux bornes, on interrompt le courant maximum dans l'induit indiqué sur la plaque de régime, sans modifier le nombre de tours ni le courant d'excitation.*

§ 46. — *Pour les machines qui ne doivent fonctionner qu'à charge non inductive, l'indication de la variation de tension pour cette dernière suffit. Quant aux machines qui doivent fonctionner à charge inductive, on doit indiquer, outre la variation de tension pour charge non inductive, la variation de tension pour une charge inductive dont le facteur de puissance est égal à 0,8. Il est également admissible d'indiquer la variation de tension pour un autre facteur de puissance.*

Les règles allemandes ne donnent aucune méthode pour la mesure de la chute de tension dans les alternateurs ; ainsi que M. Dettmar l'a fait remarquer à l'assemblée de 1902 du *V. D. E.*, avec des machines de construction différente, notamment au point de vue de la saturation, les méthodes usitées jusqu'à présent conduisent à des résultats souvent très

(1) En France on a l'habitude de désigner la variation de tension des alternateurs sous le nom de chute de tension : M. Dettmar trouve cette expression illogique. La commission allemande a adopté deux termes différents *Aenderung* et *Veraenderung*, pour exprimer les variations de nature différente de la tension : le premier définit une variation pour ainsi dire naturelle de la tension, inhérente à la machine, celle qui se produit lorsque la charge varie ou qu'on interrompt le courant dans le circuit extérieur ; le second terme désigne une variation, une modification artificielle de la tension, par exemple celle que l'on fait produire à l'aide d'un rhéostat aux machines destinées à la charge des accumulateurs.

différents ; la commission allemande proposa et mit à l'essai successivement les méthodes de Behn-Eschenburg, puis celle de Rosenberg, mais ni l'une ni l'autre ne donnèrent de résultats satisfaisants sous tous les rapports et n'obtinrent pas l'adhésion unanime des constructeurs. Aussi fut-il décidé de ne prescrire aucune méthode et d'indiquer simplement que la variation de tension des alternateurs doit être définie pour charge inductive et $\cos \varphi = 0,8$, sauf stipulation contraire.

En fixant une valeur du facteur de puissance, le but de la commission fut d'obtenir une plus grande uniformité dans la comparaison des alternateurs, mais précisément par suite de l'incertitude des méthodes de mesure, il est évident que cette uniformité n'est qu'illusoire [1].

Les paragraphes 47 et 48 (anciens 49 et 50) donnent les règles à suivre pour la mesure de la variation de tension des machines à courant continu et des transformateurs. Pour ces derniers on doit indiquer, pour le circuit secondaire, la chute ohmique de tension qui détermine la variation de tension pour charge non inductive. Comme, dans le cas où les essais se font au lieu d'installation du transformateur, il n'est pas toujours possible de faire donner à l'enroulement secondaire son courant normal, les règles allemandes permettent de faire l'essai pour une intensité ne s'écartant pas trop de l'intensité normale et les *Commentaires* fixent comme limites ± 30 p. 100.

Enfin la commission allemande a prescrit d'indiquer la chute de tension non plus en pour cent, mais *en volts*.

La règlementation américaine est plus précise et plus complète : elle définit, sous le nom d'auto-régulation, pour chaque genre de machines et d'appareils, la variation de tension, de courant, de vitesse, etc. et l'exprime *en pour cent* par rapport aux conditions de la charge normale. Je dirai seulement que pour les machines à courant alternatif, la régulation sera supposée se rapporter à des charges non-inductives, à moins de convention contraire et renverrai pour le surplus le lecteur au texte du règlement américain, qui serait tout entier à citer.

Supplément. — La commission allemande, sans vouloir fixer aucune prescription concernant la fréquence, le nombre de tours et la tension normale, a jugé désirable de recommander l'emploi de certaines valeurs, afin d'obtenir une meilleure uniformité dans la construction et les installations et de préparer éventuellement une transition à des prescriptions.

---

(1) Cette revue a décrit en leur temps les diverses méthodes proposées pour la détermination et la mesure de la chute de tension des alternateurs, notamment celles de Behn-Eschenburg (Cf t. IV, n° 37, p. 511, 14 septembre 1895), Blondel (XXI, n°s 43 et 44, p. 151 et 192, 28 octobre et 4 novembre 1899), Rothert, Arnold, Behrend (t. XXII, n° 8, p. 296 à 308), Potier (t. XXIV, n° 30, p. 133, 28 juillet 1900), Loppé (t. XXXIV, n° 8, p. 265, 21 février 1903), Westphal (t. XXXII, n° 31, p. 161, 2 août 1902), ainsi qu'une étude très complète de M. G. Giles sur cette question (t. XXVII, n°s 16 et 17, p. 90 et 137, 20 et 27 avril 1901). On lira aussi avec intérêt les articles de M. J.-L. Routin, sur l'application de la méthode de Behn-Eschenburg à l'essai du matériel électrique de l'usine de Cusset (t. XXI, n° 51, p. 441, 23 décembre 1899), sur l'application de la même méthode et de celle de Rothert à l'essai du matériel de l'usine d'Engins (t. XXV, n° 40, p. 40, 6 octobre 1900) ; dans cette dernière application la chute de tension obtenue est la même avec les deux méthodes pour $\cos \varphi = 1$ et ne diffère que de 4 p. 100 pour $\cos \varphi = 0,75$. A citer également une analyse détaillée et critique (t. XXXI, n° 14, p. 19, 5 avril 1902) d'un article de Fischer-Hinnen, paru en décembre 1901 dans l'*E. T. Z.* et dans lequel son auteur applique à une série de quinze alternateurs les méthodes de Behn-Eschenburg, Rothert et Potier ; cette dernière, dont la difficulté d'application n'est qu'apparente, lui donne des résultats beaucoup plus exacts et plus voisins des valeurs observées que les deux autres méthodes. Il y a donc lieu de s'étonner qu'à la suite de la publication de Fischer-Hinnen, la commission allemande n'ait pas pris en considération la méthode de M. Potier, antérieurement peu connue en Allemagne et qui n'avait pas été décrite dans les journaux techniques de ce pays. Enfin on consultera avec fruit les récents articles de M. C.-F. Guilbert publiés dans l'*Electrical World et Engineer* et analysés ici (t. XXXIV, n°s 10 et 11, p. 356 et 413, 7 et 14 mars 1903).

C'est pourquoi, à l'assemblée générale de 1902, elle a décidé d'ajouter le supplément suivant aux règles normales :

Dans les nouvelles installations et les prix-courants il est recommandé, en ce qui concerne la fréquence, le nombre de tours et la tension, de se conformer le plus possible aux valeurs suivantes :

La fréquence sera de 25 ou 50 périodes.

Le nombre de tours des machines à courant alternatif et à courant triphasé sera gradué d'après la table suivante :

	Nombre de tours de la génératrice, du moteur synchrone, ou du moteur asynchrone marchant à vide, pour les fréquences 25 et 50								
Nombre de pôles	2	4	6	8	10	12	16	20	24
Fréquence 25 ∿	1,500	750	500	375	300	250	187,5	150	125
Fréquence 50 ∿	3,000	1,500	1,000	750	600	500	375	300	250
Nombre de pôles	28	32	36	40	48	56	64	72	80
Fréquence 25 ∿	107	94	83	75	»	»	»	»	»
Fréquence 50 ∿	214	188	166	150	125	107	94	83	75

La tension correspondra aux valeurs de la table suivante :

a) *c. continu*

MOTEUR	GÉNÉRATRICE
110 V.	115 V.
220	230
440	470
500	550

b) *c. alternatif et triphasé*

MOTEUR OU BORNES primaires du transformateur	GÉNÉRATRICE OU BORNES secondaires du transformateur
110 V.	115 V.
220	230
500	515
1000	1050
2000	2100
3000	3150
5000	5250

Fréquence. — Les règlements américains recommandent l'emploi exclusif des fréquences 25 ou 30, 40, 60 et 120 périodes ; les normales allemandes conseillent de les limiter à deux, celles de 25 et 50 [1].

M. Tischendörfer avait proposé d'adopter aussi la fréquence 30 qui est très usitée en Amérique, notamment aux Niagara Falls, mais son avis n'a pas prévalu parce que l'écart

[1] En général, écrit l'auteur des *Commentaires*, dans ces dernières années on a appliqué d'une manière assez uniforme la fréquence 50, de sorte qu'elle est on ne peut plus facile à réglementer. Peu d'installations relativement ont été faites avec d'autres fréquences. Au nombre des fréquences employées, on peut toutefois encore nommer celles de 42, 40 et 25. Cette dernière n'est usitée que pour de purs transports de force, cas dans lequel elle présente de sérieux avantages sur la fréquence 50. On a donc décidé d'adopter aussi la fréquence 25 comme fréquence normale et avec ces deux valeurs, on se trouve à même d'exécuter rationnellement toutes les installations.

entre les vitesses des machines accouplées directement pour les fréquences 25 et 30 serait trop faible et qu'en outre l'éclairage à incandescence ne donne pas complète satisfaction à la fréquence de 30 périodes.

Vitesses. — Les vitesses données dans la table précédente sont pour des machines à courant alternatif et à courant triphasé (1). M. Dettmar voudrait aussi les voir appliquer aux machines à courant continu, mais il est évident que dans la pratique cela n'est pas possible.

On peut trouver une lacune dans les règles allemandes de même que dans le règlement américain. Ni les premières ni le second n'imposent de limites à la vitesse périphérique de l'induit et du collecteur. Sans doute ces vitesses étant limitées principalement par des considérations mécaniques, on pourrait objecter qu'elles n'ont rien à faire dans une réglementation d'ordre purement électrique. D'un autre côté le développement qu'ont pris dans ces derniers temps les turbines à vapeur accouplées à des génératrices rend difficile une telle règlementation des vitesses qui pourrait nuire à la grande extension qui leur est réservée dans un avenir prochain. Mais il y a lieu d'observer que la plupart de ces groupes électrogènes construits jusqu'à présent sont des turbo-alternateurs à fer tournant qui peuvent supporter sans inconvénient des vitesses périphériques beaucoup plus grandes que ne le supporteraient des turbo-dynamos à courant continu (2).

Il n'en est pas moins vrai que pour les machines de construction courante, indépendantes ou accouplées à des machines à vapeur, une limitation de la vitesse périphérique aurait son utilité, ne fût-ce que pour mettre un frein à l'exagération de certains constructeurs qui, pour lutter plus avantageusement contre leurs concurrents, forcent leurs machines de type normal en augmentant simplement leur vitesse ; l'on ne peut qu'approuver certaines administrations qui, dans leurs cahiers des charges, imposent des limites à cette vitesse.

L'Union Allemande d'ailleurs s'est préoccupée de cette question et si jusqu'à présent elle n'a pas encore fixé de vitesses périphériques maxima, elle a du moins, à l'assemblée générale de cette année, ajouté au paragraphe 22 (surcharge) la règle suivante, qui est destinée à concilier les diverses opinions en satisfaisant aux exigences *mécaniques* :

Au point de vue mécanique, les machines qui fonctionnent normalement avec une vitesse approximativement constante doivent pouvoir supporter pendant cinq minutes à vide, sans excitation et à excitation complète, une augmentation de 15 p. 100 de leur nombre de tours normal.

Augmentation et réduction de la tension. — Le supplément se termine par les règles suivantes applicables aux génératrices à courant continu construites pour tension variable, à l'exception des survolteurs.

a) Pour l'augmentation de la tension. — Quand une seule et même génératrice à courant

(1) L'*American Society of Mechanical Engineers*, d'accord avec l'*A. I. E. E.*, a adopté comme vitesses pour les machines électriques accouplées directement à des machines à vapeur : 310 tours pour 25 kilowatts ; 300 tours pour 35 kilowatts ; 290 tours pour 50 kilowatts ; 275 tours pour 75 kilowatts ; 260 tours pour 100 kilowatts ; 225 tours pour 150 kilowatts ; 200 tours pour 200 kilowatts ; avec une tolérance de ± 5 pour 100. (Voir le rapport de la commission d'étalonnage, *Street Railway*, vol. XIX, n° 1, p. 66, janvier 1902).

(2) Le turbo alternateur Parsons de l'usine d'Elberfeld (*Ecl. Elect.* t. XXVI, n° 8, p. 285, 23 février 1901) possède un induit dont la vitesse périphérique atteint 60 m : sec. Suivant M. Rateau, un alternateur à fer tournant ayant une vitesse de 100 et même 150 m : sec. aurait une allure encore plus stable. Pour les dynamos à courant continu, on est obligé surtout avec les balais en charbon, d'employer des dispositifs spéciaux pour les supports porte-balais et les vitesses périphériques sont moins élevées. Le turbo-dynamo de la Compagnie américaine Laval, de 200 kilowatts à 900 tours : m possède un induit dont la vitesse n'atteint que 23 m. 30. Les deux turbo-dynamos de 1800 kilowatts fournies récemment par la maison Parsons pour la station de Manchester ne dépassent pas 30 m de vitesse périphérique.

continu doit, pour un nombre de tours constant, pouvoir fournir une augmentation de tension, celle-ci peut être produite par renforcement du champ, en tant qu'il n'en résulte pas une augmentation de la puissance. En général l'augmentation de tension ainsi obtenue ne doit pas dépasser de plus de 30 p. 100 la tension normale. Une plus grande augmentation de la tension devra se faire par augmentation du nombre de tours.

b) Pour la réduction de la tension. — Quand une seule et même génératrice à courant continu doit, pour un nombre de tours constant, pouvoir fournir une réduction de tension, celle-ci peut être produite par affaiblissement du champ, en tant que la puissance n'est pas diminuée dans le même rapport que la tension. En général la réduction de tension ainsi obtenue ne doit pas dépasser de plus de 20 p. 100 la tension normale. Une réduction plus étendue de la tension devra se faire par diminution du nombre de tours.

c) Pour l'augmentation et la réduction de la tension dans une seule et même machine. — Quand une seule et même génératrice à courant continu doit, pour un nombre de tours constant, pouvoir fournir une tension plus faible et par moments aussi une tension plus élevée que la tension normale, ces variations de tension peuvent être produites par variation de l'excitation, en tant que pour la plus haute tension la puissance et pour la plus basse tension l'intensité de courant ne soient pas augmentées et que la différence entre la plus haute et la plus basse tensions ne dépasse pas cette dernière de plus de 45 p. 100. Une variation plus étendue de la tension devra s'obtenir par variation du nombre de tours.

Quand une génératrice à courant continu doit être construite pour tension variable, cette condition doit être spécialement stipulée à la commande.

Cette addition a été faite pour satisfaire aux exigences des stations centrales dont les génératrices doivent alimenter à la fois un réseau d'éclairage (2 × 220 volts) et un réseau de tramways (500 volts) et permettre aussi de charger une batterie tampon.

Que conclure des différences qui existent entre les deux règlementations ? Si l'on prend pour criterium les valeurs fixées pour la surélévation de température, puisque c'est l'échauffement qui détermine la puissance, les dimensions, le poids et le prix d'une machine, à vitesse égale, il est hors de doute que les règles normales allemandes conduisent à des machines plus légères, moins coûteuses, mais aussi plus justes et dont la durée en bon état de conservation risque d'être limitée. Il se peut que les hautes valeurs fixées par le *V. D. E.* ne puissent nuire à l'isolant, bien que les essais ayant servi à déterminer ces valeurs aient été faits sur des échantillons de fils placés dans des conditions choisies et non exposés aux influences extérieures, soumis à une température constante et non à des variations de charge brusques. Il n'en est pas moins vrai que l'on ne pourrait imposer sans danger aux machines allemandes de surcharges aussi élevées que celles prescrites par le règlement américain et que leur service nécessitera une surveillance plus attentive et des soins plus constants. De même, l'ingénieur qui projette une machine et qui se donne un échauffement maximum sera bien plus près d'atteindre une température critique en se basant sur des surélévations élevées ; pour peu que les matières premières ou la fabrication laissent à désirer, au lieu d'obtenir une machine passable mais encore suffisante, il risquera fort de n'avoir qu'une machine trop faible ou d'une durée limitée.

D'un autre côté, il faut reconnaître que la règlementation allemande sagement appliquée peut donner de bons résultats, si le constructeur comme l'acheteur s'attachent à obtenir un rendement élevé : l'échauffement n'étant produit que par les pertes d'énergie, le constructeur aura toujours intérêt à prendre des valeurs moindres que les températures maxima admissibles.

Il faut aussi convenir que les règles normales allemandes et leurs *Commentaires* renferment nombre de règles qui n'existent pas dans le règlement américain et dont l'application ne peut être que profitable au perfectionnement des machines électriques.

Enfin, au point de vue de la concurrence internationale, il serait à désirer qu'une entente se fasse entre les électriciens des divers pays industriels, pour arriver à rendre uniforme, sur ses points essentiels, la règlementation des essais des machines. Cette tâche pourrait être celle d'un prochain congrès international, mais elle ne serait possible qu'à la condition que les sociétés d'électriciens qui projettent d'établir des règlements prennent plus en considération les règles suivies à l'étranger que ne l'ont fait les électriciens allemands.

Louis Drucbert.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Plaque grillagée pour accumulateur de la Société anonyme Puissance et Lumière et son procédé de fabrication. Brevet français n° 325941, du 29 octobre 1902, délivré le 6 février 1903, publié le 12 mai 1903.

La plaque, représentée en coupe verticale en figure 1, est constituée par un cadre *a* portant la queue de prise de courant, et des barrettes

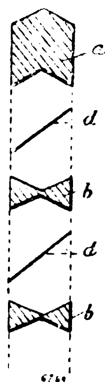


Fig. 1.

verticales et horizontales. Les barettes horizontales *b* ont une section en forme de deux triangles isocèles opposés par le sommet. Les barettes verticales ont entre deux barrettes horizontales consécutives une section variée qui se décompose en deux parties distinctes ayant toutes deux la forme d'un triangle isocèle, les triangles des deux sections étant disposés en sens contraires. En d'autres termes, chaque élément d'un barreau vertical se compose de deux prismes triangulaires disposés en sens inverses, ces deux prismes ont pour base le plan commun incliné *d*. La matière active est appliquée à la presse dans cette grille.

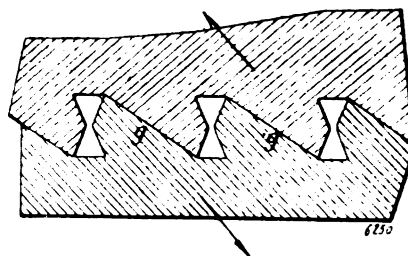


Fig. 2.

Les deux parties du moule pour l'obtention des barrettes horizontales *b* sont assemblées suivant des plans inclinés *gg* de façon à pouvoir démouler en biais (voir figure 2). Les deux parties pour l'obtention des barrettes verticales sont séparées normalement à la plaque.

L. J.

TÉLÉGRAPHIE

Sur l'utilisation des ondes électriques, par **A. Turpain.**

Ainsi que nous l'avons annoncé antérieurement, la section de physique de l'Association française pour l'avancement des sciences a mis à l'ordre du jour des séances qu'elle tiendra du

4 au 11 août, à Angers, la discussion de l'utilisation des ondes électriques, soit à la télégraphie sans fil, soit à la télégraphie avec fils, soit encore à toute autre application.

Pour servir de base à cette discussion [1], M. Turpain, maître de conférences à la faculté des sciences de Poitiers et président de la section de physique, a rédigé la note que nous reproduisons ci-dessous ;

Le but de cette note est de rassembler, en les précisant, les diverses questions que les applications des oscillations électriques ont soulevées.

Marquer l'état actuel de chacune de ces applications, et, parmi les problèmes que cette application comporte, ceux résolus d'une manière vraiment pratique, quels autres, au contraire, n'offrent qu'une solution incomplète ou même encore inconnue; dans quel cadre doit se tenir chaque application pour que les efforts nombreux des inventeurs ne risquent pas d'être vains ou stériles; indiquer encore les réglementations qu'il serait désirable de voir édicter par les gouvernements intéressés pour que les progrès réalisés dans certaines applications ne soient pas entravés; développer enfin le programme des applications qui ont moins attiré jusqu'à ce jour l'attention des chercheurs et qui promettent cependant de n'être pas moins fructueuses en résultats utiles que les précédentes, — tel est le programme auquel cette note devrait répondre.

Nous n'avons pas la prétention de le remplir en entier; nous essaierons, autant qu'il sera dans nos moyens, de le rendre aussi complet que possible. Le but de cette première note est d'ailleurs d'amener les nombreux savants et spécialistes qui ont fait soit des ondes électriques, soit de leurs applications pratiques l'objet de leurs études, à mieux préciser encore ces diverses questions que nous l'aurons fait dans cet exposé préliminaire, à relever les omissions qui s'y trouvent, à rejeter au second plan celles des questions qui nous ont, à tort, paru importantes et à mettre en évidence celles que nous pouvons avoir considéré comme secondaires. La section de physique de l'*AFAS* pourrait ainsi clôturer le Congrès de 1903 par un rapport dû aux efforts collectifs de ses membres et qui serait le programme des faits acquis d'une part, des desiderata exprimés, d'autre part, concernant les applications pratiques des ondes électriques.

Ce nouveau domaine de l'électricité semble si riche et paraît si fécond en applications de toutes sortes qu'il nous a paru utile d'attirer l'attention des chercheurs sur les diverses questions qu'il permet d'aborder, d'indiquer celles des propriétés des ondes qui semblent pouvoir être utilisées avec succès, celles qui, au contraire, semblent s'opposer à la solution de tel ou tel autre problème.

Nous adopterons, dans cette revue des applications des ondes hertziennes, l'ordre suivant :

I. — Applications télégraphiques : *a*) Télégraphie sans fil; *b*) Télégraphie avec conducteur.

II. — Applications météorologiques : Prévision des orages. — Electricité atmosphérique.

III. — Applications mécaniques : Commande à distance.

IV. — Applications à l'éclairage : Incandescence par les ondes électriques; Luminescence par les ondes électriques.

I. — Applications télégraphiques.

a) Télégraphie sans fil. — *Etat actuel des progrès réalisés.* — Les communications peuvent être assurées d'une manière vraiment pratique à des distances de 100 à 150 km.

Elles ne présentent aucune sécurité. En particulier, elles sont susceptibles d'être troublées.

1° Par les décharges d'origine atmosphérique, par les variations du champ électrique terrestre et par les effets de la température (manifestes surtout dans les régions chaudes);

2° Par un oscillateur voisin en activité.

Elles nécessitent des supports d'antenne d'autant plus élevés que la distance à franchir est plus grande, supports qui deviennent alors coûteux et surtout fragiles. Ces supports établis le plus ordinairement sur des rivages sont difficilement maintenus en place d'une manière constante. Pour peu que la hauteur d'antenne atteigne de

[1] Afin de donner plus d'ampleur à cette discussion, dont nous donnerons le compte rendu dans ces colonnes, nous invitons nos lecteurs, étrangers et français, de bien vouloir nous adresser les observations d'ordre général qu'ils estimeraient utile de faire connaître au Congrès; nous les présenterons en leur nom à la section de physique.

30 à 50 m, il paraît impossible de maintenir les antennes à demeure. Les conditions d'isolement nécessitées par les antennes doivent être d'autant mieux réalisées que la distance à atteindre est considérable. Ces conditions ne semblent pas pouvoir être assurées en toute saison et par tous les temps.

En résumé, les appareils utilisés, même pour des communications à faible distance, ne laissent pas d'être encombrants et délicats.

La vitesse de transmission des télégrammes, qu'on ne peut guère songer à enregistrer, actuellement, sous une autre forme que celle de signaux Morse, n'excède pas, en pratique courante, six mots à la minute.

Y a-t-il lieu de rechercher les moyens d'augmenter la portée pratique des ondes? Pour que ces moyens — qu'on peut considérer comme connus — répondent à une utilisation vraiment pratique, il faut avoir résolu d'une manière complète le problème de la syntonisation qui est le suivant :

Problème de la syntonisation. — Ce problème consiste à assurer entre deux postes des communications qui ne puissent être ni *surprises*, ni *troublées* par un troisième poste. Plus généralement, il consiste à assurer entre un nombre quelconque de postes distribués d'une manière quelconque des communications de l'un à l'autre sans *troubles*, *surprises* ou *confusions* provenant de l'immixtion d'un troisième poste.

Ce problème, envisagé dans toute sa généralité, est-il soluble? Les effets d'amortissement des ondes électriques laissent une trop grande marge au choix d'un résonateur et d'un excitateur syntones; il devient, par suite, toujours très aisé de trouver, soit le résonateur propre à surprendre les ondes électriques transmises, soit l'excitateur apte à troubler la transmission en cours. La recherche d'une syntonisation envisagée d'après l'énoncé ci-dessus paraît donc, actuellement du moins, illusoire. Les dispositifs préconisés jusqu'à ce jour comme dispositifs de syntonisation doivent être simplement regardés comme propres à accroître, dans certains cas, la portée des ondes. En particulier, ils peuvent être employés avec succès dans le cas de communications sur terre entre deux postes séparés par de nombreux obstacles. Nous proposons de donner à ces dispositifs le nom de *Dispositifs de résonance*, qui convient mieux au but qu'ils remplissent, puisqu'ils sont impuissants à assurer la syntonisation.

Progrès à réaliser concernant les divers organes de la télégraphie sans fil. — Il semble difficile de réaliser de grands progrès concernant la simplicité ou la robustesse des antennes, radiateurs, relais et enregistreurs de signaux. Les antennes devront toujours être très soigneusement isolées de leurs supports. Les radiateurs semblent ne pouvoir être actionnés avec efficacité et commodité qu'avec des bobines d'induction convenablement entretenues. Les relais et enregistreurs de signaux pourraient, dans certains cas particuliers, être notablement simplifiés (récepteurs pour les barques de pêche).

En ce qui concerne les détecteurs d'ondes, on ne peut guère espérer obtenir des appareils plus sensibles que certains des cohéreurs actuellement connus sans que leur excès de sensibilité n'entraîne une inconstance et une insécurité de même ordre. Il est plus désirable d'obtenir des détecteurs d'ondes — cohéreurs ou autres détecteurs — qui soient d'une sensibilité moyenne mais restent d'une constance absolue. De tels appareils sont plus aptes à servir utilement, dans le domaine vraiment pratique de la télégraphie sans fil, celui des communications à petite distance. En particulier, le détecteur d'ondes à effet magnétique (désaimantation d'un noyau de bobine due à l'action des ondes sur l'hystérésis), semble réaliser un appareil aussi sensible et bien plus constant que le cohéreur. Il y a lieu de préconiser son usage.

Applications de la télégraphie sans fil. — Ces applications sont assez limitées.

En premier lieu elle est applicable avec succès à la télégraphie en mer. Elle constitue, sinon le seul, du moins le meilleur et le plus pratique des modes de signaux entre navires. Elle est éminemment apte à assurer les relations entre les diverses unités d'une escadre. La mise en œuvre des dispositifs imaginés par M. le lieutenant de vaisseau Tissot peut être considérée comme résolvant d'une manière vraiment pratique et parfaite cette première application.

En télégraphie militaire, son application est également suivie de succès. Nous signalerons comme dispositifs très parfaitement étudiés

dans ce but spécial ceux de M. le capitaine du génie Ferrié.

Dans ces deux premières applications, l'insécurité des communications limitera, d'une manière assez notable, l'emploi de cette nouvelle télégraphie. Aussi devra-t-elle être employée concurremment avec les autres procédés (télégraphie optique, télégraphie électrique ordinaire de campagne, etc.), et ne pas être considérée comme apte à toujours remplacer ces anciens procédés. Toutefois, cette insécurité paraît devoir être moins préjudiciable dans son utilisation en escadre qu'en télégraphie militaire, l'usage d'un langage chiffré pouvant assurer d'une façon assez efficace la sécurité des communications entre navires. Le trouble des communications échangées tant sur mer que sur terre par un oscillateur voisin ne paraît pas toutefois pouvoir être évité.

Cette nouvelle télégraphie permet encore d'assurer les communications entre les bateaux-phares et la côte, entre les sémaphores et les navires pourvus de ses dispositifs; peut-être même pourrait-elle être appliquée à la mise en relation des convois de chemins de fer en marche. Il serait, en particulier, très désirable que l'on construise un dispositif récepteur assez robuste et assez simple, partant peu coûteux, dont puissent être dotés les bateaux de pêche, afin que les divers sémaphores puissent utilement les prévenir de l'approche du mauvais temps.

En résumé, le domaine d'utilisation vraiment pratique de la télégraphie sans fil est celui des communications à petite distance. Il est illusoire de considérer cette nouvelle télégraphie comme apte à remplacer la télégraphie avec conducteur.

Bien que de récentes expériences aient démontré la possibilité de recevoir, sinon d'échanger, des ondes électriques à des distances énormes (plusieurs milliers de kilomètres), il ne s'ensuit aucunement que ces expériences puissent être considérées comme une extension de la télégraphie sans fil pratique. Expériences de pure curiosité, coûteux et difficiles essais demandant pour être réalisés le concours heureux d'un très grand nombre d'éléments favorables, ces résultats nous paraissent pouvoir être comparés à l'application faite par Arago des procédés de la télégraphie optique pour rattacher le réseau géodésique européen au réseau africain. Cette communication par signaux optiques à travers la Méditerranée, réalisée dans des conditions particulières de réussite, n'implique pas plus l'utilisation pratique de la télégraphie optique à de pareilles distances que les expériences de Poldhu n'impliquent la possibilité de faire servir les ondes électriques à une télégraphie sans fil pratique à toute distance.

Il ne semble pas par suite qu'il y ait lieu de considérer les très intéressantes expériences de M. Marconi comme de nature à faire prévoir un nouveau mode pratique de communications interocéaniques apte à concurrencer la télégraphie par câbles. En admettant que les nouveaux procédés soient moins coûteux que l'établissement de câbles transatlantiques, il faut encore, pour les rendre pratiques, résoudre dans toute sa généralité le problème de la syntonisation et de plus rendre praticables par tous les temps (pluie, tempête, orage) les dispositifs de la télégraphie sans fil.

Utilité de réglementer l'usage de la télégraphie sans fil. — La répétition par trop fréquente d'essais semblables aux précédents est de nature, par les troubles qu'ils apportent aux dispositifs ordinaires de la télégraphie sans fil, à empêcher ces derniers de répondre au but vraiment utile auquel ils sont destinés.

Puisque l'influence des divers postes les uns sur les autres paraît impossible à éviter, il est désirable que les divers gouvernements prennent des mesures pour réglementer l'emploi de la nouvelle télégraphie.

A ce point de vue, le Congrès de 1903 pourrait émettre les vœux suivants :

1° Que le gouvernement français réglemente l'usage de la télégraphie sans fil, en rattachant, par exemple, au monopole réservé à l'Administration des Postes et Télégraphes, l'exploitation ou l'autorisation d'exploitation des nouveaux procédés ;

2° Qu'une entente intervienne entre les divers États pour empêcher que les postes établis sur les points frontières puissent se nuire réciproquement et entraver leurs effets de protection. Ne serait-il pas possible, à cet égard, de profiter de la réunion annuelle de la British Association qui se tiendra le 9 septembre prochain à Southport pour prier la Section de Physique de

la British Association d'envisager l'importance d'un vœu analogue au précédent, présenté par elle au gouvernement anglais.

De plus, la Section pourrait envisager l'utilité de la réunion d'un Congrès international de télégraphie hertzienne qui pourrait indiquer les bases d'une réglementation internationale pour la mise en pratique des nouveaux procédés.

b. Application des ondes électriques a la télégraphie avec conducteur. — Cette application a été l'objet de fort peu d'essais. Sans doute la légitime curiosité qu'ont provoquée les résultats obtenus par la mise en œuvre des procédés de la télégraphie sans fil, le chimérique espoir que quelques-uns des adeptes de la nouvelle télégraphie ont caressé de remplacer la télégraphie ordinaire, donnent la raison de l'abandon par les inventeurs de cette nouvelle application des ondes hertziennes. Les résultats doivent cependant être plus fructueux encore dans ce domaine que dans le précédent ; cette application se montre, en effet, apte à résoudre d'une façon des plus complètes des problèmes télégraphiques de bien plus grande généralité.

L'auteur de cette note croit être le seul qui ait cherché à appliquer les ondes hertziennes à la télégraphie avec conducteur. La conviction qu'il possède que cette nouvelle forme de télégraphie, par la souplesse même de l'agent qu'elle utilise, se montrera capable de résoudre d'une manière générale et pratique les problèmes télégraphiques (et peut-être même téléphoniques) les plus complexes, l'engage à rappeler ici les divers résultats auxquels il est arrivé dans cette voie depuis 1895. Cette conviction nous excusera de nous étendre un peu sur nos propres recherches.

Ces résultats ne sont d'ailleurs que le fruit d'essais de laboratoire faits avec de très modestes ressources sur des longueurs de conducteur qui n'ont pas dépassé 200 m ; la netteté des résultats obtenus malgré la grossièreté des appareils permet d'augurer que des expériences à grande distance effectuées avec des appareils plus précis mais s'inspirant des mêmes principes expérimentaux donneraient d'excellents résultats.

Les principes sur lesquels s'appuie cette application sont les suivants :

1° L'existence des champs hertziens interférents et la facile transformation à distance d'un champ ordinaire en champ interférent et *vice versâ* ;

2° Les propriétés du résonateur à coupure ;

3° La facile concentration du champ hertzien par un conducteur et en particulier par un conducteur convenablement protégé.

On a pu en mettant en œuvre ces divers résultats expérimentaux résoudre les problèmes télégraphiques suivants :

1° Transmission simple ;
2° — duplex ;
3° — duplex généralisée ;
4° — diplex ;
5° — duplex et diplex ;
6° — quadruplex ;
7° — multiplex ;
8° Multicommunication par ondes électriques (problème général) ;
9° Télégraphie et téléphonie simultanée.

On pourrait craindre que la transmission des ondes à grande distance au moyen d'un conducteur ne soit pas efficace. Bien que les résultats obtenus en télégraphie sans fil militent en faveur de l'efficacité de cette concentration les résultats que nous avons obtenus dans l'étude des propriétés des enceintes fermées pour les ondes électriques montrent que cette efficacité sera certaine si on a soin de réunir les dispositifs transmetteurs et récepteurs placés dans des enceintes métalliques, au moyen de conducteurs isolés à revêtement métallique (fil sous plomb). Etant donné que des réseaux télégraphiques complets de câbles souterrains existent aujourd'hui dans presque tous les états, en particulier en France, et que la mise en pratique de la transmission par multicommunication réduit au minimum le nombre de conducteurs d'un réseau, la nécessité, non encore démontrée d'ailleurs, de se servir de câbles à revêtement métallique n'entravera pas la nouvelle application des ondes électriques à la télégraphie avec conducteur.

II. — Applications météorologiques

a. Prévision des orages. — Les divers dispositifs employés successivement dans ce but par M. Popoff, par M. Boggio Lera, par M. Tommasina, puis plus récemment par M. Fenyi et par nous-même empruntent tous le cohéreur et constituent en réalité un poste récepteur de télégraphie sans fil.

L'observation des décharges atmosphériques se fait soit au moyen d'une sonnerie, soit encore à l'aide d'un téléphone.

Les préviseurs d'orage sont installés ou bien dans un but de protection agricole, dans ce cas la mise en marche d'une sonnerie ou de tout autre signal d'appel est nécessaire et l'observation par un téléphone ne sera qu'un accessoire; ou bien la prévision constitue une observation météorologique, dans ce dernier cas, au téléphone qui ne peut servir que d'appareil auxiliaire permettant de suivre pendant un moment le phénomène, il y a lieu d'adjoindre un dispositif enregistreur.

On peut comme le fait M. Boggio Lera charger de cette inscription plusieurs relais de sensibilités différentes; on peut encore plus simplement se servir d'une série de cohéreurs de sensibilités différentes qui seront impressionnés en nombre plus ou moins grand suivant que les ondes émanent d'un nuage plus ou moins rapproché. Chaque cohéreur commande, au moyen d'un relais unique, convenablement combiné, un style inscripteur. L'inscription peut se faire sur le cylindre d'un baromètre enregistreur Richard. Les tracés obtenus mis ainsi en regard de celui du baromètre sont susceptibles de permettre d'utiles comparaisons.

Il y aurait lieu d'utiliser dans les préviseurs d'orage le détecteur d'ondes à hystérésis de Rutherford. Son emploi est susceptible de se prêter peut-être mieux encore à l'observation et à l'enregistrement des décharges électriques d'origine atmosphérique.

b. Électricité atmosphérique. — La seconde application météorologique que l'on peut demander aux dispositifs de réception des ondes électriques est l'observation et l'enregistrement des effets dus à l'électricité atmosphérique.

Il serait désirable que les observatoires météorologiques étudient d'une façon suivie l'électrisation atmosphérique, les effets de la température et l'influence des nuages électrisés au moyen d'un dispositif récepteur d'ondes. Les mêmes dispositifs peuvent d'ailleurs servir à l'enregistrement et partant à l'étude des orages.

Si la prévision des orages a été l'objet d'un assez grand nombre d'études l'étude du champ électrique terrestre n'a guère donné lieu jusqu'à ce jour qu'à des observations de perturbations signalées surtout par les postes établis pour la télégraphie sans fil. L'étude systématique et suivie de ces perturbations permettrait sans doute d'employer soit le cohéreur, soit un autre détecteur d'ondes, aux observations météorologiques concurremment avec les autres procédés d'observations.

III. — Applications mécaniques

Commande a distance. — Cette application, qui consiste à produire à distance et sans fil le déclenchement d'un appareil utilise comme dispositif de commande un excitateur d'ondes et comme organe récepteur, un cohéreur. Cette application peut donc être considérée comme une variante de la télégraphie sans fil, elle en partage d'ailleurs l'insécurité et l'inconstance. La commande à distance par les ondes électriques paraît d'ailleurs avoir été plutôt l'objet d'un très grand nombre de brevets que d'une véritable réalisation pratique. Il y aurait sans doute lieu de substituer dans ces dispositifs au cohéreur le détecteur d'ondes à hystérésis du Rutherford en le rendant capable d'actionner un relais.

A côté des dispositifs de commande à distance nous signalerons l'utilisation des ondes à la solution de l'important problème de la tarification mobile, utilisation indiquée et préconisée par MM. Renous et Turpain.

IV. — Applications a l'éclairage

Peut-on véritablement citer comme une application des ondes électriques l'éclairage par incandescence ou par luminescence produite au moyen des courants de haute fréquence? Les expériences de M. Tesla, de M. Elihu Thomson, les essais d'éclairage de M. Mac Farlan Moore montrent plutôt de curieuses propriétés des ondes électriques qu'ils ne constituent une application pratique de ces phénomènes. La dépense d'énergie nécessitée par la mise en activité des dispositifs permettant de produire soit la luminescence d'ampoules à gaz raréfié, soit l'incandescence de filaments de lampes est excessive, comparée à l'intensité lumineuse obtenue. De plus le transport de ces courants de haute fréquence en des points éloignés des appareils qui les produisent n'est pas actuellement possible sans perte énorme, ni d'une manière pratique.

Toutefois on ne peut méconnaître que ces expériences sont susceptibles grâce à d'heureux perfectionnements de constituer le principe d'applications des ondes électriques à l'éclairage. Aussi avons-nous cru devoir les rappeler ici.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 19 décembre 1902.

La question à l'ordre du jour est celle des freins de traction. M. Scott, président, en ouvrant la séance insiste sur l'importance de cette question des freins, surtout dans la traction électrique et est avec les tendances actuelles pour les grandes vitesses et les arrêts fréquents. C'est un nouveau facteur économique qui s'introduit dans la traction par la considération des arrêts rapides [1].

Après avoir fait une classification des divers systèmes de freins que nous retrouverons dans le cours de cette analyse, l'orateur rappelle les services que peut rendre l'électricité dans le fonctionnement des freins en vue de faire donner à ces derniers l'effet désiré au moment voulu et d'obtenir un excellent système de réglage. Le président donne ensuite la parole aux auteurs des deux communications suivantes.

Quelques essais de freins et leurs conséquences, par **J.-D. Keiley**. *Transactions of the Am. Inst. of Elec. Eng.*, t. XX, p. 13-27, n° de janvier 1903.

Dans cette communication l'auteur indique une méthode d'essais de freins et décrit un appareil enregistreur employé dans cette méthode; après avoir donné les résultats de ces effets sur divers systèmes de freins, l'auteur indique une formule empirique de fonctionnement de ces freins dont les coefficients sont déduits de ces effets.

Quand on a passé de la traction à vapeur à la traction électrique sur les chemins de fer élevés ou les trains légers interurbains, les conditions du freinage se sont modifiées parce qu'on a eu à considérer des trucks de voiture portant leurs moteurs, marchant à grande vitesse et à accélération rapide et portant un poids de voyageurs qui n'est plus que les 45 ou 50 p. 100 du poids des voitures alors que cette proportion est de 60 à 70 p. 100 dans la traction à vapeur. Un grand nombre de Compagnies ont néanmoins conservé les anciens freins des voitures à chevaux. D'autres ont équipé leurs voitures au moyen d'appareils compliqués destinés surtout à remplacer la force musculaire ; d'autres enfin ont essayé d'effectuer l'arrêt des voitures par d'autres procédés que le frottement entre les roues et les rails.

Une voiture électrique à double truck destinée à la fois au service urbain, suburbain et interurbain doit être munie d'un frein de secours capable de produire un arrêt très rapide à des vitesses de 25 à 50 km à l'heure.

Parmi tous les systèmes de freins employés sur de telles voitures il n'y en a qu'un qui présente un progrès marqué sur les freins des trains à vapeur ; il consiste à produire, outre le frottement d'un sabot appliqué sur le rail par une portion du poids de la voiture, un frottement indépendant réalisé par une pression électromagnétique du sabot sur le rail.

L'auteur examinera brièvement les méthodes employées par une Compagnie de traction électrique pour établir les mérites relatifs de divers systèmes de freins.

Dans l'établissement de nouveaux freins ou dans l'essai d'appareils existant, l'identité et l'importance relative des diverses phases et conditions de l'arrêt doivent être examinées soigneusement. Le premier critérium de la valeur d'un frein est évidemment la distance sur laquelle se produit l'arrêt à différentes vitesses et depuis l'instant où le signal en a été donné. La figure 1 donne graphiquement ces résultats aux divers

[1] L'orateur signale des modifications importantes dans l'horaire obtenues sur le chemin de fer élevé de Greater New-York ; en changeant l'accélération à l'arrêt de 0,45 m par seconde, en une accélération triple, la vitesse du trajet ou ce qui revient au même, la capacité du matériel roulant a été augmenté de 10 p. 100.

essais de freinage. On a commencé par construire une série de courbes, de vitesses-temps et de distances-temps pour les arrêts brusques avec six différents types de freins [1].

Dans tous ces essais on employa le même type de voitures montées sur des trucks semblables, chargées de la même façon ; les voitures se déplaçaient dans la même direction sur le même tronçon de voie, et dans des conditions atmosphériques à peu près identiques. L'auteur décrit les appareils dont étaient munies les voitures pour enregistrer exactement la distance parcourue entre deux signaux et la vitesse de la voiture au moment où l'on serre les freins. Le temps qui s'écoule entre le signal d'arrêt et l'arrêt lui-même peut être divisé en trois périodes : 1° le temps écoulé entre le signal et l'acte du mécanicien ; 2° celui qui s'écoule entre le mouvement des leviers et l'application des sabots ; 3° le temps écoulé entre cette application et l'arrêt complet de la voiture.

Les deux premières périodes sont les mêmes pour un mécanicien et un système d'appareils donnés; elles sont indépendantes de la vitesse ; la troisième période variera avec cette vitesse.

Dans tous ces essais, l'accélération, en mouvement retardé à vide, était de 0,16 mille par heure par seconde. Donc si S est la vitesse au signal d'arrêt en milles (1 609 m) par heure, T, le temps s'écoulant entre le signal et l'application des freins, la distance parcourue dans cet intervalle sera en pieds (0,305 m).

$$d = 1{,}467\,T\left(\frac{S - 0{,}16\ T}{2}\right)$$

Au bout du temps T, la vitesse sera de S — 0,16 T milles par heure, et la distance

[1] Pour mesurer exactement la distance nécessaire à l'arrêt, une des roues de la voiture porte un doigt dont le contact avec le rail ferme le circuit de mise en mouvement d'un compteur de tours. On fait partir la voiture exactement au moment de ce contact; l'instant où le signal est donné au serre-frein est enregistré au compteur de tours. Ce signal se produit en un point s de la ligne, le départ ayant lieu en un point a : l'arrêt se produit au point b ; à ce moment on pousse la voiture jusqu'à ce que le doigt vienne en contact avec le rail, en un point c, la fraction correspondante de révolution du compte-tours est retranché de la lecture totale, la différence correspond au parcours total $a\,b$, la différence des lectures en s et en b correspond à la distance $a\,b - a\,s$ nécessaire à l'arrêt.

parcourue de ce point jusqu'à l'arrêt sera :

$$d' = \frac{(S - 0{,}16\ T) \times (1{,}467)}{2} \times \frac{S - 0{,}16\ T}{R}$$

ou bien

$$d' = (S - 0{,}16\ T)^2 \times \frac{1{,}467}{2\ R}.$$

R étant l'accélération en milles par heure par seconde du mouvement retardé provenant de l'action du frein.

La distance totale parcourue est donc [1] :

$$D = \left(S - \frac{0{,}16\ T}{2}\right) \times 1{,}467\,T + (S - 0{,}16\,T)^2 \times \frac{1{,}467}{2\ R}.$$

La valeur de D est donc de la forme générale :

$$D = LS^2 + MS + N$$

L,M,N sont des constantes pour chaque équipement et ne dépendent que de R et T. Les valeurs de T et R se déduisent des courbes de vitesse enregistrées pendant la période d'arrêt ; on pourra donc construire une courbe de distance D en fonction des vitesses S pour chaque équipement essayé.

Le temps écoulé entre le signal d'arrêt et l'arrêt complet sera

$$t = T + \frac{S - 0{,}16\ T}{R}.$$

On a construit de même les courbes des valeurs de t en fonction de S.

Les courbes données par l'auteur (fig. 1) pour six systèmes différents de frein en mettent en relief l'efficacité relative pour des arrêts brusques aux différentes vitesses ; ainsi, pour des vitesses de 25,4 km, les distances parcourues depuis l'époque du signal jusqu'à l'arrêt complet sont

Pour le frein	A (frein à main)	50 m
»	B (frein mécanique).	35 m
»	C » »).	34,20 m
»	D » »).	30,50 m
»	E (frein mécanique avec levier différentiel).	28,40 m
»	F (frein mécanique).	24,40 m

[1] Si on exprime S en mètres par seconde, d, d' et D en mètres, R et les autres accélérations en mètres par seconde par seconde, la formule ci-dessus devient

$$D = \left(S - \frac{0{,}072\ T}{2}\right) \times T + \left(\frac{S - 0{,}072\ T}{2\ R}\right)^2.$$

Cette formule suppose, bien entendu, que toutes les forces retardatrices sont négligeables devant celle due au frein.

Pour diminuer les chances d'accident et réaliser une économie, il faut rechercher l'arrêt le plus rapide possible qui puisse se concilier avec le confort des voyageurs. Les dépenses d'exploitation d'un frein comportent : 1° les dépenses d'entretien, de main-d'œuvre et de matériel ;

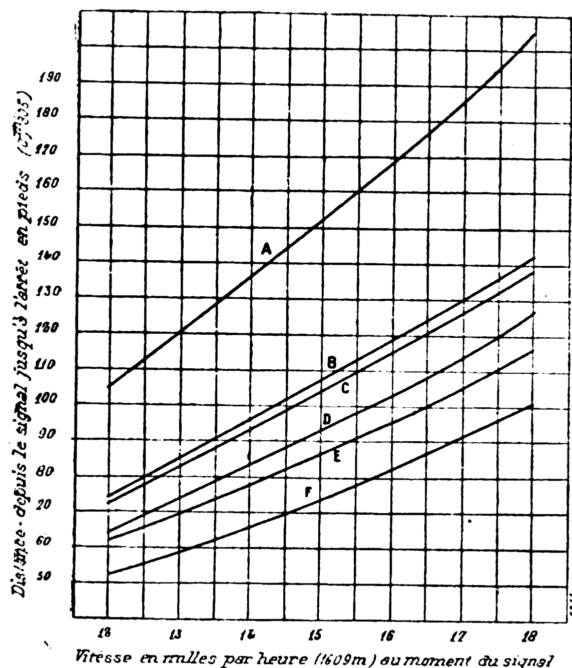


Fig. 1.

2° la dépense d'énergie ; 3° l'intérêt et l'amortissement ; 4° la réparation des dommages causés par les accidents. Dans le tableau suivant, l'auteur donne des résultats comparatifs pour les divers freins mécaniques :

	B	C	D	E	F
Entretien	58,8	10,95	36,25	»	29,20
Energie.	29,2	»	»	25	»
Intérêt	15	5	6,50	17,50	11,50
Accidents.	58	53	37	30	15
	161	68,95	79,75	72,50	55,70

P. L. C.

Le freinage des chemins de fer, par **R.-A. Parke**. *Transactions of Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p. 29-70, n° de janvier 1903.

Dans cette communication, l'auteur esquisse les développements pratiques des freins dans les chemins de fer. Il analyse les résultats des recherches sur les frottements des sabots de freins ; il essaye ensuite de définir les conditions et les limites du rendement des freins dans la pratique. Il considère enfin l'abaissement du rendement par le fait des perturbations exercées sur les pressions normales aux rails par les forces retardatrices du frein et il décrit une manière de les compenser.

L'application d'un frein sur les roues des voitures dans le but d'augmenter l'influence retardatrice du frottement des rails, et au besoin de bloquer les roues, fut une solution du problème du freinage dont on dut se contenter très longtemps. L'emploi de l'énergie mécanique ou physique à l'application des freins fut étendu ensuite à toutes les roues ; mais, en réglant la pression de façon à empêcher le patinage, on a singulièrement compliqué le problème.

L'usage de la pression mécanique et des avantages spéciaux de l'air comprimé pour la transmission de la pression sur toute la longueur d'un train établirent la supériorité du frein à air comprimé. L'auteur rappelle les diverses phases par lesquelles a passé ce système de frein pour arriver au frein automatique à action instantanée actuellement en usage. Bien que le développement du frein à air comprimé ait eu surtout pour point de départ les conditions dictées par la longueur des trains et qui ne seraient plus celles de la traction électrique, l'efficacité de ces freins et les autres avantages acquis ne seront pas moins utiles dans le freinage des trains courts ou même des voitures isolées de la traction électrique.

Les premières recherches méthodiques sur l'effet des freins se trouvent dans les expériences de Westinghouse et Galton, entreprises en 1878 sur le South Coast Railway ; les résultats de ces essais, qui auraient pu être poussés un peu plus loin, sont encore aujourd'hui la seule source d'information positive sur cet important sujet. Des recherches plus récentes ont porté plus spécialement sur l'étude de la valeur commerciale des divers freins, mais n'ont pas ajouté de donnée positive aux résultats des essais Westinghouse-Galton. Ces derniers ont porté sur des voitures à quatre roues à bandage d'acier et sur des sabots de frein en fonte ; ils peuvent se résumer ainsi :

Le coefficient de frottement des sabots de

frein diminue quand la vitesse croît, et, à vitesse constante, il décroît quand la durée du contact des freins augmente.

Il ne semblait pas que le coefficient de frottement dût augmenter avec la pression par centimètre carré. Quand les roues ne patinent pas, l'adhérence n'est pas affectée par la vitesse, mais décroît rapidement quand les roues patinent. Le frottement est maximum avec des rails secs ou très mouillés ; il est minimum avec des rails légèrement humides.

La variation absolue du frottement avec des vitesses croissantes est très régulière ; il décroît très rapidement quand on part du repos, puis décroît avec une rapidité de plus en plus faible. L'auteur a pensé que les résultats expérimentaux pouvaient être représentés par une portion de l'hyperbole équilatérale dont l'équation serait

$$f = \frac{0,326}{1 + 0,03532\ V},$$

dans laquelle V représente la vitesse en milles par heure (1 609 m).

La concordance entre cette formule et les données de l'expérience est figurée dans la table suivante :

VITESSES V	COEFFICIENTS DE FROTTEMENT f		VITESSES V	COEFFICIENTS DE FROTTEMENTS	
	Calculés	Observés		Calculés	Observés
0	0,326	0,330	45	0,126	0,127
5	0,277	0,273	50	0,118	0,116
10	0,241	0,242	55	0,111	0,111
15	0,213	0,223	60	0,105	0,074
20	0,191	0,192	65	0,099	
25	0,173	0,166	70	0,094	
30	0,158	0,164	80	0,085	
35	0,146	0,142	90	0,078	
40	0,135	0,140	100	0,072	

L'auteur fait remarquer que pour une vitesse de 60 milles (96,6 km) à l'heure la concordance cesse de subsister. Ce fait peut être attribué à deux causes : 1° à ce que les autres résultats sont les moyennes de 54 à 90 essais, tandis que pour la vitesse de 60 milles on ne put obtenir que 12 résultats ; 2° l'autre raison est probablement que, ayant observé que le coefficient de frottement est moindre aux grandes vitesses, on augmenta considérablement la pression pour compenser cette diminution ; or, il est reconnu maintenant que le coefficient de frottement est une fonction inverse de la pression. Aussi l'auteur n'a-t-il pas tenu compte de ce résultat, à la vitesse de 60 milles, pour établir la formule précitée.

Dans les résultats de ses expériences, le capitaine Galton donne le maximum et le minimum des coefficients de frottement observés. Comme les valeurs minima sont très irrégulières et s'écartent beaucoup des valeurs moyennes, et comme, d'autre part, les valeurs maxima concordent mieux avec les résultats d'expériences plus récentes, l'auteur estime que la formule suivante

$$f = \frac{0,382}{1 + 0,02933\ V}$$

déduite des valeurs maxima représente mieux les phénomènes. Le capitaine Galton admettait encore que la diminution du frottement variait comme l'accroissement de la durée du contact, mais une analyse approfondie des résultats montre qu'elle est une fonction du produit de la vitesse par le temps ou autrement dit de la distance parcourue par les sabots sur la jante des roues. Les essais les plus récents semblent démontrer que, à vitesse égale, le frottement devient constant après un certain temps ; mais il est probable que le coefficient de frottement continue à subir l'influence de l'application continue des freins pendant tout un trajet, avec les plus grandes vitesses de la pratique actuelle.

En admettant que le coefficient de frottement demeure stationnaire après un certain temps de frictions continues à vitesse constante, il reste encore à savoir si cette valeur fixe reste la même pour toutes les vitesses, ou bien si elle est une fonction du coefficient initial de frottement correspondant à la vitesse et à la pression des sabots de l'expérience considérée. L'auteur penche pour cette dernière hypothèse et représente les variations du coefficient de frottement par la formule

$$f' = \frac{1 + hs}{1 + cs} f$$

où f est le coefficient initial de frottement, s la distance parcourue par les sabots sur la surface des roues, h et c les constantes.

En appliquant les résultats d'observation du capitaine Galton, on trouve pour h et c les valeurs $h = 0,000472$, $c = 0,00239$; d'après ces

valeurs le point stationnaire du frottement serait atteint après 2 000 ou 3 000 pieds (600 à 900 m) et sa valeur est certainement supérieure à 0,2 fr En l'absence de données plus certaines, il n'est pas possible d'appliquer mathématiquement cette formule à tous les cas de la pratique. Ainsi les pentes affectent la vitesse de l'arrêt non seulement en modifiant directement la force retardatrice, mais encore en faisant varier la distance sur laquelle s'opère une réduction donnée de vitesse. Des expériences effectuées sur le même train, à la même vitesse, sur la même portion de voie, différeront notablement pour des causes obscures de la nature de celles qui viennent d'être indiquées.

En ce qui concerne l'influence de la pression sur le coefficient de frottement, des essais récents ont démontré que ce dernier diminue quand la pression augmente et bien que le caractère de cette variation soit encore inconnu, tout fait supposer qu'elle est de même nature que celle qui dépend de l'accroissement de vitesse ou de la surface de contact.

L'abaissement rapide du coefficient de frottement quand les roues se trouvent bloquées s'explique par la diminution des surfaces en contact et aussi par le frottement moindre de l'acier des roues sur l'acier des rails, comparé à celui de la fonte des sabots sur l'acier des roues. On atteindra donc la vitesse maxima de ralentissement en appuyant les sabots de telle façon que le frottement soit uniforme et juste assez fort pour ne pas dépasser le frottement statique des roues sur les rails. Si la voie peut être sablée convenablement, le coefficient de frottement sur les rails sera toujours au moins égal à 0,20 et peut être regardé comme le quart de la pression des roues sur les rails. Dans ce cas, l'accélération du mouvement retardé est environ le quart de l'accélération de la pesanteur, et l'arrêt s'effectuera sur une distance représentée par l'expression $0{,}1338\ V^2$, où V est la vitesse initiale en milles par heure. Réaliser un frein d'une telle efficacité est un problème complexe dont on ne peut espérer une solution que le jour où l'on aura bien compris le caractère variable du coefficient de frottement des sabots. L'auteur ne croit pas le problème insoluble et estime qu'il n'est pas inutile d'examiner ce qui a été fait et ce que l'on peut encore faire pour augmenter l'efficacité des freins. Tout d'abord le coefficient de frottement statique sur les rails ne mesure pas rigoureusement l'effort retardateur maximum ; cela tient évidemment à la grande différence de pression dans les deux sortes de contact : roue-sabot et roue-rail. La ligne théorique de contact entre les roues et les rails dépendra de l'élasticité des matériaux, du diamètre des roues, de la forme des rails et des bandages. Bien qu'il soit admis que le frottement dynamique de sabots en fonte sur roues en fonte durcie soit supérieur au frottement de ces mêmes sabots sur des bandages en acier, il ne s'ensuit pas que le frottement statique de bandages en acier sur rails en acier ne soit pas supérieur à celui de roues en fonte. Quoi qu'il en soit, il est raisonnable d'admettre que la surface effective de contact est plus grande avec de grandes roues à bandages en acier et des rails aplatis.

L'utilisation de la force retardatrice disponible par le fait du frottement des rails, comporte une pression des sabots : 1° décroissante en même temps que la vitesse ; 2° croissante en même temps que la longueur de la surface frottée et 3° décroissante ou croissante suivant que la pression diminue ou augmente elle-même le coefficient de frottement.

L'effet combiné de la vitesse décroissante et de l'augmentation de la distance parcourue diffère avec la vitesse initiale ; l'augmentation du coefficient de frottement par suite de la décroissance de la vitesse, dans les premiers instants est relativement beaucoup plus faible pour des vitesses initiales élevées. Dans les arrêts en faible vitesse, le coefficient de frottement augmentera faiblement au début et rapidement à la fin, mais d'une façon continue ; aux grandes vitesses, au contraire, le frottement demeurera stationnaire au bout d'un certain temps, pour augmenter ensuite rapidement et même brusquement à la fin. C'est donc une caractéristique de tous les arrêts que le coefficient de frottement est relativement faible dans la première période et beaucoup plus élevé à la fin ; on se rapprochera donc du frein idéal en employant une pression de sabots relativement élevée au début et en la réduisant progressivement de façon à empêcher le bloquage des roues à la fin. L'auteur rappelle que ce perfectionnement a été réalisé pratiquement par l'addition au frein automatique d'une valve de détente automatique sur chaque cylindre de frein. Les arrêts ordinaires des trains ont

consisté jusqu'à présent en une réduction préliminaire de la vitesse à une grande distance des points d'arrêts, puis en une réduction graduelle de la vitesse restante, soit d'une façon continue, soit par applications successives. Mais l'augmentation rapide du trafic suburbain et l'introduction de la traction électrique ont notablement accru l'intérêt qui s'attache à la question des arrêts rapides. Les conditions du problème sont également toutes différentes. Aux faibles vitesses la violence du freinage de secours peut produire des désagréments chez les voyageurs et la pression sur les sabots est trop voisine de celle qui correspond au bloquage des roues. Mais pour les grandes vitesses atteintes entre deux stations d'un service suburbain, le coefficient initial de frottement des sabots est trop faible pour que l'application des freins de secours puisse produire un choc désagréable ; de plus le coefficient de frottement, au voisinage de l'arrêt, est réduit, dans une proportion telle, par l'effet d'un frottement bien plus prolongé des sabots, que le bloquage des roues n'est plus à redouter.

L'emploi d'un freinage énergique dans un service rapide conduit aussi à une économie de temps importante parce que, contrairement à ce qui a lieu pour un service ordinaire, le jugement du mécanicien a beaucoup moins d'importance, le freinage à fond se fait presque instantanément et peut être appliqué, sur un signal, en un point toujours le même. Il en résulte que la pleine vitesse peut être maintenue sur la plus grande portion du parcours, qu'elle est suivie par un arrêt brusque et que la moitié du temps pris par le freinage dans un service ordinaire peut être économisée.

L'auteur trouve assez étrange que, tandis que les efforts sont concentrés sur la réalisation des plus grandes accélérations possibles au démarrage, la question des grandes accélérations retardées, a été constamment négligée et souvent même reléguée à dessein.

Il est évident que la force avec laquelle les sabots doivent être appliqués dépend avant tout de la pression des roues sur les rails ; dans la construction des voitures électriques, il arrive souvent qu'une paire de roues supporte plus de poids qu'une autre ; la pression des sabots devra être établie en conséquence. Mais, indépendamment de la répartition normale du poids sur les divers essieux, l'accélération à l'arrêt elle-même entraîne une distribution du poids qui, pour une force retardatrice correspondant à l'effet maximum des freins, se traduit par une diminution sérieuse du rendement du freinage à moins que l'on ait recours à un système de variation de la pression des sabots approprié au changement de la pression des roues. Quelle que soit l'origine des forces retardatrices, la résultante doit être dirigée vers le centre d'inertie de la masse et en sens contraire du mouvement.

L'auteur montre comment l'application des freins sur les roues modifie la distribution de la pression sur les rails, dans le cas d'un simple truck ou de deux trucks à pivot ; il montre aussi comment l'existence d'une pression plus grande sur les roues avant que sur les roues arrière du truck, implique le transfert virtuel d'une portion de la pression normale d'une paire de roues sur l'autre. Il en conclut que la pression sur chaque paire de roues doit être limitée par suite du mouvement de la voiture dans les deux sens, à celle qui correspond à la pression minima des roues sur les rails, et si l'on remarque que cette pression minima sur les rails a lieu quand les freins sont appliqués avec le plus de force et qu'elle est moindre que les 85 p. 100 de la pression normale, il en résulte que dans une voiture ordinaire à huit roues l'adhérence disponible pour le freinage n'est que les 85 p. 100 du poids de la voiture, ce qui fait ressortir l'importance des méthodes de compensation de cette réduction de la force retardatrice.

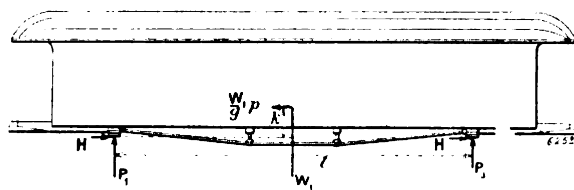


Fig. 1.

Dans la traction électrique où les voitures sont actionnées individuellement, où les forces retardatrices peuvent être réparties également sur les diverses voitures, il n'y a pas lieu de considérer des réactions transmises d'une voiture à l'autre par suite d'un freinage non uniforme, comme dans les trains à vapeur. L'auteur se borne donc à étudier les réactions entre le corps de la voiture et les trucks afin de confiner ensuite l'examen aux trucks seulement. La figure 1 repré-

sente un corps de voiture où les trucks ont été remplacés par des flèches figurant les forces portantes et retardatrices qu'ils appliquent à la voiture. Le frottement des rails introduit une accélération retardatrice p sur tous les éléments de la voiture et les forces horizontales H provenant des trucks, sont absorbées par l'inertie des masses élémentaires de la voiture que l'on peut représenter par une force hypothétique $\frac{W_1}{g} p$, appliquée au centre de gravité dans une direction opposée aux forces H. On a donc :

$$P_1 + P_2 - W_1 = 0 \qquad 2H = \frac{W_1 p}{g}$$
$$W_1 \frac{l}{2} - P_2 l = \frac{W_1 p}{g}$$

d'où l'on tire

$$P_2 = \frac{W_1}{2} - \frac{W_1 pk}{gl} k$$
$$P_1 = \frac{W_1}{2} + \frac{W_1 pk}{gl}.$$

Dans les voitures électriques le centre de gravité est généralement bas et le rapport $\frac{k}{l}$ est très faible. Il est évident néanmoins, que la pression, sur les rails, du truck arrière, étant celle qui limite la pression des freins sur l'un ou l'autre des trucks, on n'aura à s'occuper que des conditions se rapportant au truck arrière et les conclusions s'appliqueront aussi au truck avant.

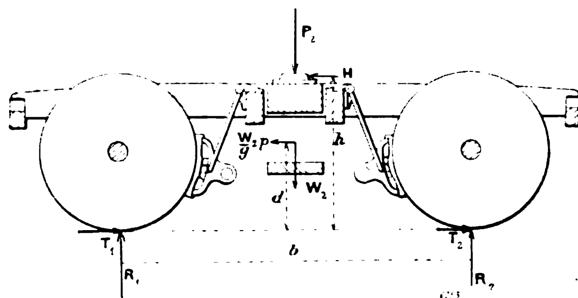


Fig. 2.

La figure 2 représente le truck arrière, P_2 étant la pression verticale exercée par la voiture, H la réaction horizontale appliquée à une hauteur h au-dessus des rails, R_1 et R_2, T_1 et T_2 figurant respectivement la pression sur les rails et les frottements. W_2 représente le poids du truck appliqué au centre de gravité à une hauteur d au-dessus des rails. Ces diverses forces sont liées par les relations suivantes :

$$R_1 + R_2 - W_2 - P_2 = 0$$
$$T_1 + T_2 - H = \frac{W_2 p}{g}$$

et l'application du théorème des moments donne :

$$W_2 \frac{b}{2} + P_2 \frac{b}{2} - R_2 b - Hh = W_2 \frac{p}{g} d$$

d'où l'on tire

$$R_2 = \frac{W_2}{2} + \frac{P_2}{2} - \frac{Hh}{b} - W_2 \frac{p}{g} \frac{d}{b}$$
$$R_1 = \frac{W_2}{2} + \frac{P_2}{2} + \frac{Hh}{b} + W_2 \frac{p}{g} \frac{d}{b}.$$

En remplaçant H et P_2 par les valeurs précédemment trouvées, on obtiendra

$$T_1 + T_2 = \frac{W_1 + 2W_2}{2} \frac{p}{g}$$
$$R_2 = \frac{W_1 + 2W_2}{4} - \frac{W_1}{2} \frac{p}{g} \left(\frac{h}{b} + \frac{k}{l}\right) - W_2 \frac{p}{g} \frac{d}{b}$$
$$R_1 = \frac{W_1 + 2W_2}{4} + \frac{W_1}{2} \frac{p}{g} \left(\frac{h}{b} + \frac{k}{l}\right) - W_2 \frac{p}{g} \frac{d}{b}.$$

Ces équations montrent que l'effet du freinage, outre la réduction de la pression sur les rails de la quantité $\frac{pkW_1}{2gl}$, a été de transporter des roues arrière sur les roues avant un poids égal à

$$\frac{phW_1}{2gb} + \frac{pdW_2}{gb};$$

la voiture devant se mouvoir dans les deux sens, la pression disponible pour le freinage se trouve réduite de la valeur primitive

$$\frac{W_1 + 2W_2}{4}$$

pour chaque paire de roues, à la valeur

$$\frac{W_1 + 2W_2}{4} - \left\{ \frac{W_1 p}{2g} \left(\frac{h}{b} + \frac{k}{l}\right) + \frac{W_2 pd}{gb} \right\}.$$

Des équations précédentes on tire

$$p = 2 \frac{T_1 + T_2}{W} g.$$

en désignant par W le poids total $W_1 + 2W_2$ de la voiture.

Les expressions de R_1 et R_2 deviennent

$$R_2 = \frac{W}{4} - \left\{ W_1 \left(\frac{h}{b} + \frac{k}{l}\right) + 2W_2 \frac{d}{b} \right\} \frac{T_1 + T_2}{W} \left. \right\} \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{W}{4} - \left\{ W_1 \left(\frac{h}{b} - \frac{k}{l}\right) + 2W_2 \frac{d}{b} \right\} \frac{T_1 + T_2}{W} \left. \right\} . \quad (2)$$

Si f_1 désigne le coefficient de ce frottement statique, les valeurs maxima de T_1 et T_2 sont $R_1 f_1$ et $R_2 f_1$; si l'on remplace R_1 et R_2 par les valeurs correspondantes dans les deux dernières équations, on en tirera les valeurs de T_1 et T_2 correspondant au maximum d'efficacité des freins. Comme il est d'usage, en pratique, d'appliquer à chaque roue la plus grande pression possible sans la bloquer, on pourra poser,

$$T_1 = T_2 = f_1 R_2$$

$$T_1 = T_2 = \frac{f_1 W}{4} \frac{Wb}{Wb + 2f_1 \left\{ W_1 \left(h + \frac{ko}{l}\right) + 2W_2 d \right\}}$$

En appliquant à cette équation les données des voitures usuelles, l'auteur trouve que le maximum du frottement, au lieu de la valeur théorique $\frac{f_1 W}{4}$ sera seulement $0{,}834 \frac{f_1 W}{4}$.

Cette perte importante de force retardatrice a conduit l'auteur à rechercher un moyen de proportionner automatiquement la pression des sabots sur les roues avant et arrière de façon qu'elles correspondent plus exactement aux valeurs des frottements déduites de la condition maximum d'efficacité des freins. Ces valeurs tirées des équations (1) et (2), avec les données pratiques sont $T_1 = 1{,}151 \frac{f_1 W}{4}$,

$$T_2 = 0{,}806 \frac{f_1 W}{4};$$

de sorte que l'on peut obtenir un frottement total

$$T_1 + T_2 = 0{,}978 \frac{f_1 W}{2}.$$

L'auteur a trouvé qu'en appliquant les sabots sur les faces intérieures des roues et en inclinant d'une façon convenable le bras qui porte les sabots sur la tangente à la roue au point médian de la surface du sabot, la pression de ce dernier peut être proportionnée à la pression des roues. Ce dispositif est l'inverse de celui de la pratique actuelle où les sabots sont disposés extérieurement, ce qui augmente la tendance du truck à la rotation autour d'un axe parallèle aux essieux, l'origine de cette tendance se trouvant déjà dans les forces retardatrices produites par le frottement sur les rails. La suspension des sabots sur les faces intérieures des roues a au contraire pour effet de neutraliser cette conséquence fâcheuse du frottement. La suspension extérieure présente en outre des inconvénients résultant de l'inclinaison inévitable des bras qui portent les sabots sur la tangente à la roue.

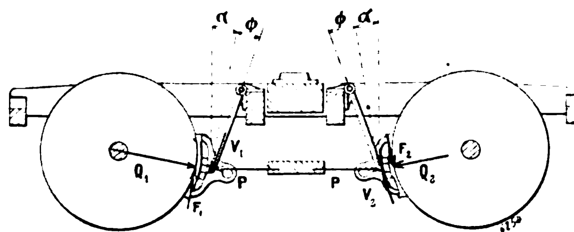


Fig. 3.

Considérons, en effet (fig. 3) les forces diverses appliquées à chaque levier de frein ; les forces Q_1 et Q_2 représentent la réaction des roues sur les sabots, les forces F_1 et F_2 désignent les forces de frottement correspondantes, V_1 et V_2 les réactions des sabots sur les articulations, P, P sont les forces exercées sur les sabots par les cylindres du frein, α est l'angle des pressions Q_1 et Q_2 avec l'horizontale ou de F_1, F_2 avec la verticale. L'inclinaison des bras articulés sur la direction tangentielle des forces F_1, F_2 est désignée par φ ; en décomposant les forces suivant deux axes rectangulaires, on obtient les relations évidentes

$$Q_1 \cos\varphi - F_1 \sin\varphi - P\cos(\alpha + \varphi) = 0$$
$$Q_2 \cos\varphi + F_2 \sin\varphi - P\cos(\alpha + \varphi) = 0.$$

Si le coefficient de frottement des sabots est f_2, on a

$$F_1 = f_2 Q_1$$

et

$$F_2 = f_2 Q_2$$

et les équations précédentes donneront :

$$\text{tang.}\ \varphi = \frac{1}{f_2} \frac{F_1 - F_2}{F_1 + F_2} \quad (3)$$

$$P = \frac{(F_2 + F_1)\cos\varphi - f_2 (F_1 - F_2)\sin\varphi}{2f_2 \cos(\alpha + \varphi)} \quad (4)$$

Si r_1 est le rayon des roues, w leur poids et r_2 le rayon de giration, un ralentissement d'accélération p de la voiture est accompagné d'une accélération angulaire $\frac{p}{r_1}$ du mouvement de rotation de la roue et pour absorber l'énergie emmagasinée, il faudra à la surface des roues une force retardatrice égale à

$$w r_2^2 \frac{p}{g r_1^2}.$$

En pratique on a trouvé que le carré du rayon de giration des roues ordinaires est égal au 6/10 du carré du rayon des roues. Par conséquent les frottements nécessaires pour fournir les deux forces retardatrices sur les deux paires de roues sont :

$$F_1 = \frac{1,2\,w}{g} p + T_1$$

$$F_2 = \frac{1,2\,w}{g} p + T_2.$$

Si maintenant on veut réaliser le frottement maximum sur chaque paire de roues conformément à l'inégale distribution de poids comme il est indiqué dans les équations 1 et 2, p ayant la valeur correspondante on aura :

$$F_1 = \frac{f_1 W}{4} \frac{(W + 4,8\,w) \times b + 2 f_1 (W_1 h + 2 W_2 d)}{\left(W + 2 f_1 W_1 \frac{k}{l}\right) b}.$$

$$F_2 = \frac{f_1 W}{4} \frac{(W + 4,8\,w) \times b - 2 f_1 (W_1 h + 2 W_2 d)}{\left(W + 2 f_1 W_1 \frac{k}{l}\right) b}$$

En appliquant ces valeurs à l'équation (3), il viendra :

$$\text{Tang.}\, \varphi = 2 \frac{f_1}{f_2} \frac{W_1 h + 2 W_2 d}{(W + 4,8\,w)\, b} \qquad (5)$$

En remplaçant $F_1 - F_2$ par les valeurs $f_2 (F_1 + F_2)$ tang. φ, l'expression de la force à appliquer à la traverse du frein sera

$$P = \frac{f_1}{f_2} \frac{W}{4} \frac{W + 4,8\,w}{W + 2 f_1 W_1 \frac{k}{l}} \frac{(1 - f_2^2 \,\text{tang}^2 \varphi) \cos \varphi}{\cos (\alpha + \varphi)} \qquad (6)$$

Quand on donnera à la pression sur la traverse cette valeur (6) et à l'angle φ, celle de la formule (5), la pression des sabots croîtra toujours sur la paire de roues portant le poids le plus fort.

En pratique il est difficile de maintenir un angle constant d'inclinaison du levier des freins, par suite de l'usure des sabots et des bandages. Il faut donc prendre une inclinaison correspondant à l'usure moyenne et ne pas dépasser la pression sur la traverse qui serait capable de bloquer les roues dans les positions extrêmes du bras articulé. L'auteur s'étend longuement sur cette influence de l'usure sur la prédétermination des données précédentes ; il conclut que le milieu du sabot, à l'état d'usure moyenne, doit être placé convenablement (8 cm) au-dessous du centre de la roue, dans le même état et que le bras articulé doit être aussi long que possible avec la tangente à la roue, sans dépasser la valeur de compensation parfaite correspondant à l'équation 5, à l'usure moyenne ; on calculera ensuite la force P à appliquer à la traverse pour les valeurs α_1 et φ_1 qui existent quand les sabots et les roues sont complètement usés, si c'est l'angle de pleine compensation qui correspond au maximum de pression admissible et pour les angles α_2 et φ_2 qui existent quand les roues et les sabots sont neufs si on a employé un angle moindre que celui qui correspond à la pleine compensation.

L'équation 5 montre que l'angle d'inclinaison du bras articulé varie inversement de l'écartement des roues, ce qui est avantageux. L'inclinaison correspondant à la compensation parfaite peut être employée quand cet écartement est de huit pieds (2,44 m) quel que soit le diamètre des roues ; pour des roues de 82 à 90 cm on peut encore obtenir une compensation partielle si l'écartement des roues est supérieur à 2,10 m.

Pour appliquer ces principes dans le cas où la pleine compensation peut être employée, il faut remarquer que la pression des freins ne doit pas entraîner le blocage des roues avant et après usure complète ; le frottement des sabots sur les roues arrière sera alors :

$$F_2 = \frac{1 - f_2 \,\text{tang}\, \varphi_1}{1 + f_2 \,\text{tang}\, \varphi_1} \times F_1, \text{ d'après l'équation (3).}$$

L'auteur en déduit la valeur de la force à appliquer à chaque traverse de frein, dans ce cas. Il fait remarquer qu'il faut compter sur une perte de 20 p. 100, dans la transmission de la pression des pistons au moyen des leviers et des articulations ; cette pression sur le piston

peut donc être représentée par

$$B = 4P \times 0{,}80.$$

L'auteur applique ces considérations aux voitures ordinaires des trains de voyageurs américains ; il a construit des tables donnant les valeurs des angles $\alpha + \varphi$, des pressions B, suivant les divers diamètres de roues et leurs écartements.

Au sujet de l'emploi des ressorts destinés à assurer un jeu suffisant quand les freins ne sont pas appliqués, l'auteur constate l'impossibilité de mesurer et d'employer les forces nécessaires pour obtenir une distribution uniforme des efforts de freinage en tenant compte de la résistance des ressorts. Le dispositif qui consiste à suspendre les traverses des freins à l'intérieur des roues permet d'assurer un jeu suffisant par l'inclinaison des bras articulés et réduit les dépenses et les ennuis dus à l'emploi des ressorts.

L'auteur aborde enfin l'examen des particularités techniques des freins à air ; il rappelle les avantages et les inconvénients des systèmes à compresseur unique avec réservoir d'air comprimé, d'une part, et des systèmes de compresseurs établis sur chaque voiture, d'autre part. Parmi les autres modes d'actionnement des freins, les appareils à vide n'ont plus qu'un intérêt historique ; mais l'emploi de l'électricité semble plein de promesses et le frein électromagnétique en particulier semble appelé à un grand avenir. Il semble bien établi que la chaleur développée par les résistances de démarrage est insuffisante pour le chauffage des voitures, mais l'emploi de ces résistances pour régler le courant nécessaire au freinage peut résoudre cet intéressant problème. Les appareils consistent comme l'on sait en une combinaison du frein ordinaire avec un système de sabots s'appliquant sur les rails. L'auteur rappelle les inconvénients et les complications inutiles des systèmes de freins sur rails qui jusqu'à présent empruntaient leur force d'application à une partie du poids de la voiture sans aucun avantage au point de vue du rendement. L'emploi du frein électromagnétique repose sur des principes tout différents : les sabots des rails son placés entre les deux paires de roues ; et leur frottement non seulement s'ajoute au frottement des sabots sur les roues, mais en outre l'attraction magnétique augmente la pression des roues sur les rails. L'auteur décrit un système de frein électromagnétique et en fait ressortir les caractères bien connus ; les effets produits incidemment par l'emploi de ces freins ne sont pas moins intéressants ; ainsi le courant diminue avec la vitesse et réduit le coefficient de frottement au ralentissement ; par mauvais temps les roues ont une tendance à patiner, la pression des freins sur les roues est diminuée et proportionnée automatiquement au frottement sur les rails. En outre, si les roues se trouvent bloquées le courant magnétisant est interrompu et les sabots quittent instantanément les roues.

Enfin l'efficacité du frein électromagnétique dans les diverses conditions du service est de beaucoup supérieure à celle de tout autre système et, comme son emploi économise le courant ou tout autre agent employé pour le chauffage des voitures, il est certainement destiné à occuper une place prépondérante dans l'exploitation des chemins de fer électriques.

P. L. C.

Discussion des communications de MM. Keiley et Parke sur les freins. *Transactions of Am. Inst. of Elect. Eng.*, t. XX, p. 70-80, janvier 1903.

M. Mailloux conclut de la communication de M. Parke, qu'il considère comme une autorité en matière de freins, que la question n'est pas encore suffisamment élucidée pour que l'on puisse établir une courbe type du fonctionnement d'une voiture dans la période du freinage. Les tentatives personnelles de l'orateur en vue de déduire une telle courbe d'un ensemble d'une centaine d'essais n'ont pas abouti davantage. M. Mailloux se félicite néanmoins d'avoir trouvé dans cette communication un résumé précieux des données dont on dispose actuellement, où se trouvent établis très judicieusement les facteurs en même temps que les difficultés pratiques que comporte cet important problème.

M. Townley rappelle que des essais ont été faits à Boston, il y a deux ans, pour déterminer différents détails techniques concernant les freins. Un train composé de trois voitures semblables fut lancé à des vitesses maxima comprises entre 55 et 65 km à l'heure ; on appliqua les freins en laissant le courant sur les moteurs ; on prouva que lorsque la vitesse se trouvait réduite à 32 km à l'heure, cette vitesse restait cons-

tante, ce qui démontra qu'il n'était pas pratique d'arrêter un train sans supprimer la force motrice. L'orateur, en ce qui concerne la disposition des sabots entre les deux roues, trouve l'avantage d'éviter les projections de poussière métallique provenant de l'usure des sabots et des bandages sur l'équipement électrique.

Tel n'est pas l'avis de M. Gotschall, s'il faut en croire les renseignements que cet orateur a pu recueillir à Boston. Ce dernier fait remarquer que des essais récents ont prouvé que les freins mécaniques réalisaient une économie de 12 p. 100 sur les freins à main ; on attribue ce fait à ce que, avec un frein mécanique, le mécanicien supprime d'abord la force motrice avant de serrer son frein tandis qu'il tient le frein à main serré plus ou moins sur tout le parcours.

M. le prof. Franklin, en se plaçant à un point de vue purement scientifique, dit que la complexité de la question n'a rien de surprenant ; le coefficient de frottement est une conception, il n'existe sans doute aucune relation entre la pression d'une surface sur une autre et celle qui est nécessaire au glissement ; la question ne doit donc être étudiée qu'à un point de vue tout à fait empirique.

M. H.-H. Westinghouse partage cette manière de voir. En fait, le frein électromagnétique est une excellente chose ; mais il faudra une longue expérience pour établir ce que ce système peut donner entre les mains des mécaniciens. Quand un accident se produit, on s'accorde toujours à dire que les freins ont mal fonctionné ; le problème du freinage aura fait un grand progrès, quand, dans une telle occurrence, l'on pourra dire si l'accident est dû soit à la défectuosité des appareils, soit aux conditions dans lesquelles ils ont été manipulés.

Au sujet de la communication de M. Reiley, M. Parke conteste la possibilité d'établir des formules applicables à toutes les conditions des arrêts des trains. Il est bien reconnu que la résistance d'un train est une fonction de la vitesse, l'accélération dans la période de ralentissement est de même une fonction de la vitesse initiale. L'orateur a eu l'occasion de rechercher une formule d'arrêt analogue à celle de M. Reiley ; si l'on néglige la résistance du train et l'influence des pentes, on trouve une expression logarithmique qui peut être appliquée avec toutes les vitesses initiales. La résistance des trains peut, en effet, être négligée, mais il en est autrement de l'influence des pentes ; en en tenant compte, l'orateur est arrive à une formule où la vitesse initiale entre à la troisième puissance.

L'orateur conteste également l'exactitude des résultats économiques donnés par M. Reiley ; l'élément personnel du mécanicien joue un trop grand rôle dans cette question pour qu'on puisse la résoudre en dollars. En particulier, les charges pesant sur l'exploitation d'un système de frein par le fait des accidents ne peuvent être raisonnablement imputées à la valeur technique du frein, à moins que ces données ne soient le résultat de l'observation d'un grand nombre d'années, ce qui n'est certainement pas le cas dans l'étude de M. Reiley. P. L. C.

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXXVI Samedi 1er Août 1903. 10e Année. — N° 31

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS EN AMÉRIQUE [1]

Lorsque j'ai entrepris l'an dernier une étude d'ensemble sur l'éclairage électrique des trains, j'ai pu faire connaître [2] d'une manière assez précise l'importance prise à cette époque par les divers systèmes d'éclairage électrique dans les chemins de fer européens, parce que j'avais visité la plupart des installations exécutées par ces Compagnies et que des renseignements sur celles que je n'avais pas vues moi-même m'avaient été fournis soit par les Compagnies elles-mêmes, soit par les rapports du Congrès des chemins de fer de 1900. Je n'ai trouvé au contraire, ni dans ces rapports, ni ailleurs, des renseignements certains sur l'éclairage électrique des trains en Amérique. J'espérais que la réunion de l'*American Institute of Electrical Engineers*, relative à l'éclairage électrique des trains [3] et, tenue à New-York le 27 février 1903, puis successivement dans plusieurs autres villes des Etats-Unis, et suivie chaque fois d'une discussion des mémoires lus à l'assemblée, me permettrait de combler cette lacune. Mon attente a été fortement déçue. Au lieu de l'exposé méthodique et impartial des divers systèmes d'éclairage électrique employés en Amérique, avec indication du nombre d'applications réalisées par chacun d'eux, (comme l'aurait souhaité M. Steinmetz, président de l'assemblée de Shenectady), on ne trouve dans les mémoires présentés, en dehors d'un tableau des avantages et des inconvénients de chacune des

[1] Cet article contient également quelques renseignements complémentaires sur l'éclairage des trains en Suisse par le système Küll (deuxième partie).

[2] Voir l'*Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 341 et 428, 7 et 21 juin 1902 et t. XXXII, p. 417 et 457, 20 et 27 septembre 1902.

[3] Le compte-rendu de cette réunion a été annoncé dans le journal (*Éclairage Électrique* du 9 mai 1903, t. XXXV, p. 239), qui a reproduit l'allocution présidentielle faite à New-York par M. Scott.

catégories de systèmes qui peuvent être employés, que des descriptions dithyrambiques tendant à démontrer, selon le mot spirituel d'un des membres, que le système prôné par l'orateur « est le seul parfait et que tous les autres ne valent rien ». Non seulement les conférenciers se sont bien gardés de dire depuis quelle époque et sur quelle échelle le système dont ils parlaient était appliqué, mais encore ils n'ont pas songé à indiquer le nom de l'inventeur ni la Société détentrice du système, ce qui eut pourtant été utile, tout au moins pour les non Yankees. Heureusement les observations qui ont surgi pendant la discussion ont fait connaître les points faibles de ces systèmes, comportant tous une commande par l'essieu et ont fourni quelques données sur les autres procédés en usage aux Etats-Unis pour éclairer électriquement les trains. Les renseignements statistiques font encore défaut, mais en tous cas la discussion a jeté un peu de clarté sur le sujet présenté à l'assemblée.

Nous voyons là un exemple de la méthode employée dans les sociétés scientifiques d'Allemagne, d'Angleterre et surtout, d'Amérique, où l'on ne met à l'ordre du jour d'une séance qu'un seul sujet, développé longuement par un ou plusieurs conférenciers et soumis ensuite à une discussion très ample. Cette méthode présente évidemment des inconvénients, car elle inflige souvent l'audition de discours oiseux par des membres bavards connaissant mal le sujet ou abordant des questions à côté [1] et qui embrouillent la question plus qu'ils ne l'éclaircissent; mais elle a par contre l'avantage de faire examiner sous toutes ses faces le sujet qui, sauf dans des cas particuliers, comme celui de l'éclairage des trains, comportant des données statistiques d'ensemble difficiles à fournir d'improvisation, se trouve étudié à fond. Dans nos Sociétés françaises, au contraire, les ordres du jour des séances sont tellement chargés que le temps fait défaut pour exposer des observations étendues sur les mémoires présentés, qui généralement ne donnent lieu qu'à des discussions nulles ou écourtées. Les séances sont peut-être plus attrayantes, mais aussi bien plus superficielles.

Je commencerai l'analyse du compte rendu de la séance par le mémoire d'ordre général, de 6 pages seulement, de M. Shepardson, dont voici le résumé.

Les premières applications de l'éclairage électrique dans l'industrie des transports sont très anciennes. Le vaisseau *Columbia* fut éclairé par l'électricité en mai 1880 par la Compagnie Edison. Au commencement de 1881 on installa l'éclairage électrique dans les ateliers du Manhattan Railroad et dans les ateliers de locomotives Baldwin. Pour satisfaire les ingénieurs de chemins de fer, un système d'éclairage de train doit, d'après M. Shepardson, être sûr, exempt de dangers pour les voyageurs et bon marché comme installation et comme entretien. Les premiers essais d'éclairage électrique des voitures ont eu lieu, à l'aide d'accumulateurs, en Angleterre sur le *London Brighton* en octobre 1881 et en Amérique en 1882 sur le *Pennsylvania*. On trouve même, dès 1879, un brevet allemand d'Hinkefus et Wesel comportant une dynamo mue par un essieu d'une voiture. L'éclairage électrique est considéré comme suffisamment sûr pour que le *Chicago and Milwaukee, Saint-Paul* l'emploie dans ses trains depuis 1890 sans lampes de secours, de même que le *Pennsylvania* qui a été le premier à introduire l'électricité en Amérique et va l'étendre à

(1) Le cas s'est présenté à la séance de l'*American Institute of Electrical Engineers* dont nous nous occupons, où un membre de l'Assemblée a déclaré qu'un bon système d'éclairage de trains devait donner une tension constante à 1/2 p. 100 près, comme dans la lumière distribuée par les secteurs (qui se serait douté d'une pareille régularité ?) Un autre membre a parlé d'une installation qu'il avait réalisée ou étudiée pour alimenter à intensité constante des arcs en série en nombre variable (conditions bien différentes de celles d'un éclairage de trains).

toutes ses voitures circulant à l'ouest de Pittsburg. Rien n'égale l'électricté pour l'absence de danger d'incendie ou d'explosion. La tension employée étant toujours très basse, les voyageurs ne courent aucun risque s'ils viennent à toucher des parties dénudées du circuit. Ce mode d'éclairage est exempt de fumée et ne dégage presque aucune chaleur ; il ne présente pour les voyageurs aucun inconvénient, à part les extinctions ou vacillements accidentels. En outre il est le seul à se prêter à des adaptions variées et décoratives, sur des tables ou des couchettes par exemple. On peut également si l'on a du courant électrique pour l'éclairage faire marcher des ventilateurs et radiateurs électriques. L'alimentation se fait toujours à potentiel constant variant de 30 à 110 volts.

L'éclairage fourni sur les voitures américaines, généralement plus grandes il est vrai qu'en Europe, est très intense; on trouve, suivant les cas, de 10 à 80 lampes de 8 bougies, soit 80 à 600 bougies par voiture, et même dans quelques voitures, 26 lampes de 50 bougies donnant au total 1300 bougies, chiffre dont on n'a pas idée sur les chemins de fer européens. M. Shepardson expose ensuite les difficultés spéciales aux trois genres de systèmes d'éclairage électrique par accumulateurs seuls, par moteurs, et par dynamo commandée par l'essieu. Dans les systèmes par batteries isolées, on obtient une grande régularité de lumière si la capacité de la batterie est proportionnée à la durée d'éclairage; par exemple dans le parcours entre Chigago et Jersey City avec rechargement à Chigago seulement, le voltage est de 32 volts au départ et de 30 volts à la fin du voyage de retour. Mais quelquefois, dans les voitures éclairées par accumulateurs seuls, la lumière devient faible à la fin des voyages si la batterie, étant devenue vieille, a perdu de sa capacité initiale ; aussi le système paraît inapplicable pour les services transcontinentaux. Le manque de temps conduit souvent à employer des régimes de charge trop élevés qui fatiguent les plaques et produisent une évaporation rapide du liquide. Les trépidations désagrègent aussi les plaques plus vite que dans les installations fixes. La corrosion des connexions par les vapeurs acides cause aussi souvent des incidents. On peut éviter les projections de liquide en employant des bacs suffisamment hauts avec ou sans couvercle ; mais la difficulté de visite des éléments conduit à ne les examiner que lorsque les incidents se sont déjà produits. La difficulté de réaliser la ventilation des batteries, sans introduire trop de poussière dans les coffres à accumulateurs, rend faible l'isolement des batteries et cause une dégradation des coffres, que l'on peut réduire par un emploi abondant de peintures isolantes, mais que l'on ne peut éviter complètement. L'équipement électrique par batteries isolées conduit, y compris les coffres et accessoires, à un poids d'environ 1,4 tonne ce qui, d'après M. Shepardson, est peu sur le poids total de 41 tonnes d'une voiture ordinaire et de 52 tonnes d'une voiture-lits : le prix des batteries 3 000 fr, ajoutés aux 1 500 ou 2 000 fr. d'agencement fixe, paraît également faible à M. Shepardson comparé au coût de 40 000 à 50 000 fr d'une voiture ordinaire et de 64 000 à 100 000 fr d'une voiture-lits

Dans les systèmes comportant une dynamo mue par un moteur placé dans le fourgon et recevant la vapeur de la locomotive, il y a quelquefois des incidents dus à la rupture de la connexion flexible entre la machine et le fourgon. On emploie, soit des tuyaux métalliques à rotules, soit des boyaux en caoutchouc renforcés par une spirale intérieure d'acier et dont la durée peut varier de quelques heures à plusieurs mois ; il est vrai que le remplacement d'un boyau se fait en quelques minutes au premier arrêt. Il y a quelquefois des saletés provenant de l'échappement du moteur (lequel se fait par le toit du fourgon), qui viennent se déposer sur les parois et les fenêtres des voitures ; on peut les éviter en munissant l'échappement d'un grillage retenant les matières graisseuses que l'on amène sur la voie par un conduit de décharge ; les mouvements alternatifs du moteur causent dans

le fourgon des trépidations, qui sont quelquefois ressenties à l'extrémité du train pendant les arrêts. L'emploi des turbines à vapeur fait disparaître cet inconvénient. Les petits moteurs ont une consommation considérable de vapeur par cheval heure. Il faut pendant les changements de locomotives, faire usage d'une source auxilliaire de lumière produite par une batterie d'accumulateurs ou par des lampes à gaz ou à huile. La surveillance du groupe générateur n'est pas grande, car généralement c'est l'agent de train du fourgon qui s'en occupe ; au Chigago, Milwaukee et Saint-Paul les 4 fourgonniers qui font le parcours de 640 km entre Minneapolis et Chigago reçoivent une indemnité supplémentaire de 50 fr par mois, ce qui fait une dépense de 4,15 fr par kilomètre. Au Northern Pacific, où le fourgonnier a plus de manutention qu'il n'en peut faire, on lui a adjoint un électricien qui surveille le groupe générateur et donne un coup de main pour le chargement des colis.

Dans les systèmes avec dynamo mue par l'essieu, une grande difficulté a été rencontrée pour obtenir une bonne liaison mécanique entre la dynamo et la voiture, dont le châssis se déplace dans les trois directions, longueur, largeur et surtout hauteur ; il faut encore protéger les appareils de la poussière et des pierres projetées pendant la marche et l'on a enfin à craindre la gelée sur les courroies. La commande par friction, courroie ou engrenage, a été employée suivant les systèmes. Le problème de la régulation électrique nécessitée par les variations considérables de vitesse des essieux, présente également de grandes difficultés ; et, ajoute M. Shepardson, c'est un triomphe que de voir, malgré ces difficultés, les systèmes avec commande par l'essieu appliqués sur une assez grande échelle.

Le prix de revient de l'éclairage électrique varie suivant les systèmes employés et beaucoup aussi suivant le soin apporté dans la conduite des appareils. En tous cas, M. Shepardson estime que ce prix n'a qu'une faible importance comparé à toutes les autres dépenses causées par la circulation d'un train et que l'électricité doit être préférée aux autres modes d'éclairage, même à prix plus élevé, si elle attire des voyageurs supplémentaires par le luxe et le confort plus grand qu'elle procure.

Avant de passer à l'examen des mémoires relatifs aux systèmes mus par l'essieu voici quelques renseignements peu complets que j'ai trouvés sur l'application des deux autres classes de systèmes, en Amérique, dans le compte rendu de la discussion.

L'éclairage par batteries isolées a été essayé en Amérique presque en même temps qu'en Angleterre ; en octobre 1881 sur une voiture Pullmann circulant entre Londres et Brighton, éclairée par accumulateurs Faure, et avec le même type d'accumulateurs importé d'Europe ; en août 1882, sur la voiture n° 397 du *Pennsylvania Railroad* ; mais ces essais furent comme ceux d'Angleterre abandonnés au bout de quelques mois, à cause de la détérioration rapide des plaques. De nouveaux essais d'éclairage par accumulateurs furent entrepris en 1884 par cette Compagnie, qui commença en 1885 l'application ferme de l'éclairage électrique sur quelques voitures, a continué depuis à l'étendre et récemment l'a adopté pour tout son matériel à voyageurs. (M. Shepardson, qui donne ces renseignements n'indique pas le nombre de voitures équipées, ni le type d'accumulateurs définitivement employé). M. Blodgett a fait connaître les essais, qu'il a suivis, effectués de 1887 à 1889 par le *Boston and Albany Railroad*, qui éclaira pendant deux ans entièrement à l'électricité deux trains circulant entre Boston et New-York, (on peut admettre que ceci correspond à 10 voitures), à l'aide d'accumulateurs Julien. Chaque voiture portait 2 batteries alimentant chacune un des côtés du véhicule et mises en parallèle pendant la période d'éclairage ; elles étaient mises en série pendant la charge et aboutissaient à 2 bornes sur lesquelles on insérait des fiches reliées à une

canalisation d'éclairage. La charge se faisait d'abord à l'un des terminus ; on reconnut ensuite la nécessité de la faire aux deux bouts de la ligne. Les essais furent interrompus parce que l'on ne put plus, à un moment donné, obtenir du courant de l'usine de New-York servant à la charge des accumulateurs; et, comme l'on avait constaté une détérioration très rapide des plaques qui exigeaient des réparations continuelles, l'éclairage électrique ne fut pas repris.

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, M. Shepardson cite le *Chicago, Milwaukee and St-Paul Railroad* comme faisant usage de l'éclairage électrique depuis 1890, mais il n'indique pas le nombre de voitures ou trains équipés, ni le système employé. Il semble que les trains dont il s'agit sont éclairés par un groupe générateur unique mû par un moteur à vapeur placé dans le fourgon et recevant sa vapeur de la chaudière par une conduite flexible, d'après une observation de M. Smith. Cet ingénieur a fait remarquer que les systèmes de ce genre, appliqués en Amérique depuis 1886, sont encore ceux que l'on rencontre sur les plus beaux express des États-Unis, des Compagnies de chemins de fer *New-York Central; Lake Shore*; *Chicago and North Western; Chicago*, *Milwaukee and St-Paul; Northern Pacific;* et plusieurs autres. Le train dénommé *Pennsylvania Limited,* qui est un train de luxe circulant entre New-York et Chicago, mais qui est composé entièrement de matériel Pullmann et n'appartient pas au chemin de fer *Pennsylvania Railroad,* sont également éclairés par un groupe électrogène à vapeur placé dans le fourgon (il semble résulter de la discussion assez, confuse, que d'autres trains de luxe appartenant à la Compagnie Pullmann, sont aussi éclairés par le même système depuis 1885 ou 1886). M. J.-R. Sloan, ingénieur électricien de la *Pullmann Palace Car Company* n'ayant pas voulu, malgré l'invitation qui lui en avait été faite, prendre la parole, M. Bliss fournit quelques renseignements sur l'éclairage de ce train. On s'est servi, depuis le début jusqu'à maintenant, d'un moteur Botherood actionnant une dynamo Eickmeyer tournant à 800 tours par minute. Ce moteur consommait au début 36 kg de vapeur par cheval-heure, mais cette consommation avait atteint paraît-il jusqu'à 225 kg par cheval-heure. (Ce chiffre paraît énorme, et il ne faut pas oublier que M. Bliss, comme on le verra plus loin, est le promoteur d'un système de commande par l'essieu). Depuis quelques mois, le groupe générateur primitif a été remplacé par un autre composé d'une turbine à vapeur Laval actionnant une dynamo à 2 000 tours par minute. Ce nouveau groupe est un peu plus encombrant que l'ancien, mais il consomme moins de vapeur 11,2 kg par cheval-heure (cette fois le chiffre semble très faible; surtout quand la turbine aura un certain temps de service); il ne produit aucune vibration comme on en observe par exemple pendant les arrêts du train *Lake Shore Limited* qui contient un moteur à piston dans le fourgon. Chaque voiture du train porte sa batterie d'accumulateurs et M. Bliss déclare que même avec la nouvelle dynamo plus puissante que l'ancienne, les batteries sont rechargées dans l'un des terminus parce qu'ils ne le sont pas pendant la marche du train. Ceci me paraît indiquer que les accumulateurs travaillent seulement pendant les arrêts du moteur c'est-à-dire lorsque la locomotive est décrochée et ne sont pas couplés en parallèle avec la dynamo pendant la marche. La tension de la dynamo n'a plus alors besoin de monter au-dessus de 2 volts par élément d'accumulateur, et peut être réglée à une tension uniforme égale à la tension de décharge des batteries. C'est évidemment une solution très simple, puisqu'on obtient ainsi une tension parfaitement constante aux lampes, sans avoir besoin d'aucune résistance variable ou autre dispositif nécessaire pour compenser les variations de tension aux bornes des accumulateurs, lorsque ceux-ci sont couplés en parallèle avec la dynamo et rechargés en marche. Mais, par contre, le système perd son grand avantage d'indépendance, s'il faut avoir en un point du parcours

une usine de charge. Je ne crois pas que cette solution simpliste ait été envisagée ailleurs qu'en Amérique. Dans les autres pays où l'on a fait l'éclairage des trains en bloc, en Angleterre par exemple, où des systèmes de cette classe sont employés depuis 1882 au *London Brigthon* et au *Great Northern* [1], avec, il est vrai, commande de la dynamo par l'essieu à vitesse très variable, on a résolu le problème dans toute sa généralité, en effectuant le rechargement des accumulateurs pendant la marche du train ; on a agi de même en Allemagne dans les installations récentes avec dynamo actionnée par turbine à vapeur Laval. Quoique certains orateurs aient indiqué comme possible l'emploi d'un groupe électrogène à vapeur placé directement sur la locomotive, il semble, d'après la discussion, que ce dispositif n'a pas été employé jusqu'à présent en Amérique, tandis qu'il a été appliqué, comme on sait, il y a un an en Allemagne [2]. Peut-être est-ce parce qu'en raison de la quantité considérable de lumière fournie dans les voitures américaines (comme on l'a vu plus haut dans le mémoire de M. Shepardson) le groupe générateur nécessaire pour l'éclairage de tout un train doit avoir une puissance plus élevée qu'en Europe et devient par suite plus encombrant.

Je ne ferai que passer sur le court mémoire de sept pages de M. SPERRY qui parle des avantages d'un nouveau système autogénérateur pour voitures isolées, système dont il ne donne, malgré les questions qui lui sont posées, aucune description, parce que sa Société lui a défendu de le faire, à cause des brevets en cours. Il signale simplement que la dynamo, commandée par l'essieu à vitesse essentiellement variable, tournera pourtant à vitesse constante, sans faire usage du glissement d'une courroie comme dans le système Stone. Ceci ne peut être obtenu que par un ensemble d'appareils mécaniques dont le fonctionnement ne sera probablement ni aussi sûr ni aussi avantageux, comme l'a fait remarquer un des membres. Des dispositifs de ce genre ont déjà été appliqués, je crois, notamment dans le système Moskowitz, et abandonnés ensuite.

Quoiqu'aucun renseignement précis ne se trouve dans les Comptes rendus, il semble résulter de la discussion qu'il n'y a guère actuellement que 4 systèmes autogénérateurs pour voitures indépendantes réellement employés en Amérique.

La maison Gould, promotrice des attelages automatiques entre véhicules et concessionnaire de la maison Stone, de Londres, fait usage en Amérique du système Stone à double batterie que je ne décrirai pas à nouveau [3] ; je rappellerai seulement qu'il comporte 2 batteries (voir schéma de la figure 1) interverties automatiquement suivant le sens de la marche, et dont l'une B débite en parallèle avec la dynamo sur les lampes L, tandis que l'autre A est en pleine charge ; le système est caractérisé par le fonctionnement de la dynamo à vitesse à peu près constante, par suite du glissement plus ou moins grand de la courroie commandée par l'essieu à vitesse essentiellement variable. Il est curieux que le système Gould n'ait pas été présenté à la séance de l'American Institute, consacrée à l'éclairage électrique des trains, car il est probable qu'il a déjà reçu une certaine extension en Amérique. En effet, d'après une observation de M. Lyndon, la maison Gould a mis trois ans pour remanier complètement l'équipement Stone et l'adapter au matériel américain, et n'aurait certainement pas pris cette peine si elle n'avait pas été sûre d'en faire des applications importantes. Dans le système Gould, tous les organes du système Stone ont été

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 429, 21 juin 1902.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. 81, 18 avril 1903.

(3) Voir pour la description complète du système Stone l'article du 20 septembre 1902, t. XXXII, p. 418.

conservés, mais leur forme a été notablement modifiée. Comme le faisait remarquer M. Lyndon, les conditions sont bien différentes suivant qu'il s'agit d'éclairer les voitures européennes généralement très petites ou les énormes voitures américaines, notamment au point de vue de la commande de la dynamo. Ainsi que le disait M. Farnsworth, 90 p. 100 des équipements autogénérateurs existant dans le monde font usage de la commande par courroie. C'est certainement le procédé le plus commode, toutes les fois que la puissance de la dynamo n'est pas très forte, parce que les déplacements du châssis par rapport à l'essieu, dont parlait M. Shepardson (voir plus haut) ne causent avec ce procédé aucune difficulté. Il suffit de monter la dynamo (fig. 2) sur tourillons pouvant tourner librement

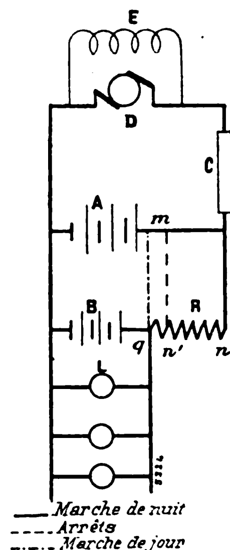


Fig. 1. — Schéma du système Gould (Stone) à double batterie.

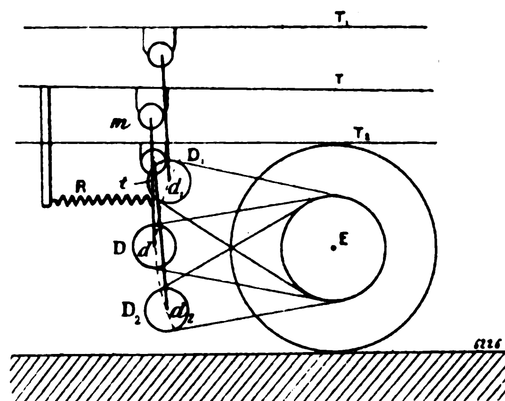


Fig. 2. — Schéma de commande d'une dynamo par l'essieu à l'aide d'une courroie.

autour d'un arbre *m* fixé au châssis T du véhicule, pour rendre la commande de la dynamo indépendante des variations de hauteur T_1 T_2 de ce châssis par rapport à l'essieu fixe E (une dizaine de centimètres environ). En effet, sous l'influence du ressort de tension R de la courroie (remplacé par la composante de la pesanteur dans le système Stone), l'axe *d* de la dynamo décrit simplement un arc de cercle $d_1 d d_2$ (dont j'ai exagéré fortement la courbure sur le schéma de la figure 2). Les déplacements latéraux et longitudinalement du châssis T par rapport à l'essieu E, qui sont beaucoup plus faibles, surtout dans les voitures sans bogies, se traduisent simplement par un léger écart de la courroie à droite et à gauche et par une légère variation dans le rappel du ressort R. Il n'y a donc besoin d'employer pour ainsi dire aucun dispositif spécial de suspension. La pratique a montré que la poussière, la neige et la gelée, dont parle M. Shepardson, n'ont pas d'influence fâcheuse sur le fonctionnement et la durée des courroies, comme on pourrait le craindre *a priori* et comme je le croyais moi-même en 1893 et 1894, époque à laquelle les systèmes autogénérateurs pour voitures isolées n'avaient pas encore vu le jour, lorsque j'ai étudié deux systèmes autonomes d'éclairage des voitures, dans lesquels j'avais prévu une commande par galets de friction. Ce procédé, qui a été employé ensuite au début des systèmes Vicarino et Auvert, a été vite abandonné et n'existe plus nulle part, je crois, d'abord parce qu'il conduit à des dispositifs assez compliqués de suspension de la dynamo capables de tenir compte des

déplacements, verticaux surtout, du châssis des véhicules par l'essieu ; en second lieu on a constaté, contrairement à ce qu'on aurait pu croire, que les pierres abîmaient vite les galets de friction et que la gelée les faisait patiner, alors que les courroies n'étaient pas éprouvées. Le patinage des courroies sous l'influence de la neige ou de la gelée ne se produit que dans des conditions climatériques très rigoureuses, comme on peut en rencontrer, il est vrai, dans certaines parties de l'Amérique du Nord et de la Russie. La commande par engrenages enfermés n'est pas influencée par les intempéries, mais elle entraîne des dispositifs aussi compliqués et encore plus coûteux que dans le cas de friction ; aussi n'est-il pas utile d'y avoir recours quand la dynamo n'est pas considérable. Au contraire, lorsque la puissance à transmettre de l'essieu à la dynamo devient un peu forte, on comprend que les courroies montées sur un système exposé à des déplacements et des trépidations continuelles ne se comportent pas toujours très bien. C'est pourquoi on a tendance à employer la commande par engrenages pour l'éclairage des grandes voitures américaines, comme on en verra un exemple plus loin dans le système décrit par M. Bliss ; un dispositif à engrenage a déjà été usité dans les essais d'éclairage d'un train entier de l'État autrichien par le système Dick (1). M. Mac Elroy, qui a étudié et expérimenté un système d'éclairage autogénérateur employé au Canada et construit par la *Consolidated Car Heating Company* d'Albany (c'est le second système annoncé), dit qu'avant d'en arriver à la commande par engrenages, il a essayé des courroies sur poulie plate, en toutes sortes de tissus, qui tombaient si fréquemment qu'il avait fini par désigner la ligne d'Albany à Montréal « la ligne aux courroies ». Sur des poulies à flasques, il observa une usure rapide des bords de la courroie. Je n'ai pas de renseignements sur le type de courroie de la maison Gould.

(*A suivre.*)

CH. JACQUIN.

SUR LES ÉLECTRONS (2)

IV. — THÉORIE DE LA CONDUCTION ET DE LA RADIATION DANS L'HYPOTHÈSE DES ÉLECTRONS. — Le Dr J. Larmor et le professeur H.-A. Lorentz ont cherché à rendre compte de toutes les propriétés de l'électricité par les électrons, en considérant généralement ceux-ci comme associés aux atomes matériels. On lira avec intérêt les suggestifs travaux du Dr Larmor dans les « Transactions of the Royal Society » et dans son grand résumé intitulé « Ether and Matter », récemment publié par l'Université de Cambridge. L'électron y forme la base de toute la théorie, et l'auteur suppose que les électrons en mouvement sont les seuls courants électriques qui existent.

Conduction. — La conduction, ou transmission de l'électricité, peut se faire suivant trois modes :

1° Les électrons se déplacent avec les atomes ; c'est ce qui a lieu pour les liquides, comme le montre l'électrolyse. Le mécanisme s'opère ici d'une façon analogue à celle d'un oiseau emportant une graine et ne la laissant tomber qu'en terrain favorable, c'est-à-dire sur une électrode.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 482, 21 juin 1902.

(2) Voir précédent numéro, page 121.

2° Dans les gaz, comme on l'a vu à l'aide des rayons cathodiques, les électrons se déplacent seuls, d'une manière comparable à celle d'une balle de fusil : l'espace entre la cathode et l'anode représente la longueur comprise entre la culasse et la bouche du canon, et le reste du chemin parcouru est analogue à la trajectoire de la balle, qui est finalement arrêtée par un écran en produisant un éclair de lumière ou quelque autre manifestation.

3° Dans les solides, les atomes, n'étant pas susceptibles de locomotion, se transmettent les électrons de proche en proche, comme on passe les seaux d'eau de main en main en faisant la chaîne. Ils oscillent légèrement dans un sens pour les recevoir et dans un autre sens pour les transmettre et entrent ainsi graduellement dans cet état de vibration que nous appelons la chaleur. Que ce soit l'effet de la dilatation et de l'écartement moléculaire, ou des perturbations dues aux entrechocs, il est certain que la conduction s'améliore à mesure que la température baisse et devient tout à fait facile aux très basses températures. Les électrolytes, il est vrai, sont meilleurs conducteurs à chaud qu'à froid, mais c'est là un phénomène différent ; dans ce cas il n'y a pas réellement conduction, mais locomotion convective d'ions.

Les métaux sont des corps dans lesquels le transfert d'un électron d'un atome à l'autre s'opère facilement, sans exiger de force pourvu qu'on ne précipite pas trop l'action, le mode est de la nature d'une *diffusion*. Les isolants sont des corps dans lesquels la transmission ne se fait que par violence. La transmission de vibrations le long d'une chaîne de molécules connexes pourrait bien se faire par un mode de connexion analogue, d'où il suit que la conduction de l'électricité et la conduction de la chaleur, quoique s'opérant différemment, peuvent avoir bien des points communs.

Sur la conduction électrolytique et la conduction dans les gaz, nous n'avons plus grand chose à apprendre. Dans les gaz, les électrons négatifs sont à l'état libre et se déplacent avec une grande vitesse : les charges positives, restant associées à la matière, se déplacent lentement.

Dans les liquides, les électrons des deux sortes, associés avec des atomes, forment des ions qui se déplacent lentement par diffusion. Leur vitesse, calculée par Kohlrausch, observée par Lodge et par d'autres, est bien connue.

Dans les solides, la vitesse de transmission ne peut être que présumée. Il semblerait que dans une classe de solides, ce sont les charges positives qui se déplacent le plus vite ; dans une autre classe, ce seraient les charges négatives. Cette différence s'observe facilement dans les liquides. Dans les acides, par exemple, la vitesse des charges positives est de beaucoup la plus grande, parce qu'elles sont associées avec des atomes d'hydrogène légers ; c'est à cause du transport relativement facile de ces légers atomes d'hydrogène que les acides sont en général si bons conducteurs.

Le phénomène de Hall, comme la rotation magnétique de Faraday, est un effet différentiel, qui serait nul si les charges positives et négatives subissaient des influences égales. Il est différentiel aussi dans les gaz, mais là, l'état d'indépendance des charges négatives et leur vitesse très supérieure à celles des charges positives le rendent, surtout dans les gaz raréfiés, beaucoup plus prononcé que dans les solides et les liquides.

Radiation. — Mais ce n'est pas seulement le mouvement progressif, la locomotion des dépendances électriques de l'atome que nous avons à considérer ; nous devons admettre aussi qu'elles sont en mouvement dans l'atome lui-même, soit qu'elles vibrent, soit qu'elles décrivent de minuscules orbites comme un satellite de l'atome. Ce sont en effet les vibrations ou révolutions des électrons dans un atome qui donnent naissance au pouvoir radiateur. La matière toute seule n'a aucune connexion perceptible avec l'éther, ce fait est

***

prouvé par un mémoire de Sir Oliver Lodge, publié dans les *Philosophical Transactions* de 1893 et 1897 ; c'est la charge électrique qui établit entre la matière et l'éther une connexion, laquelle ne dépend pas de la vitesse (et n'a aucun rapport avec le frottement), mais uniquement de l'accélération. C'est seulement quand la charge vibre, et pendant ses périodes d'accélération, qu'elle peut agir sur l'éther et y faire naître des ondes : c'est cette sorte de mouvement qui constitue ce que nous appelons radiation. Ce ne sont pas les vibrations de l'atome en masse qui affectent l'éther, mais les vibrations ou les mises en mouvement, les arrêts et les révolutions de sa charge électrique. Mais l'accéleration normale ou centripète, qui n'implique rien de plus qu'un changement de direction, a exactement la même influence qu'un changement de vitesse ; quand une charge électrique décrit une petite orbite 400 billions de fois par seconde, elle émet les derniers rayons rouges du spectre. Quand elle vibre plus rapidement, elle émet des rayons de réfrangibilité supérieure. Un atome d'une substance quelconque, quand il est à l'état à peu près libre, émet une sorte particulière de radiation qui dépend de la vitesse de révolution de ses électrons, chaque fréquence de vibration correspondant à une ligne définie du spectre.

Mais, s'il en est ainsi, la radiation doit être sensible à l'influence magnétique, car une charge électrique en révolution constitue un courant circulatoire, et si l'on fait naître un champ magnétique dont les lignes traversent ce circuit, il doit pendant ses variations d'intensité, causer une croissance ou une décroissance de la vitesse et par là élever ou abaisser la réfrangibilité. Si donc on fait naître un champ magnétique au milieu d'électrons qui tournent dans tous les sens, pendant l'accroissement d'intensité du champ la vitesse de certains d'entre eux sera augmentée, celle de certains autres diminuée, et cette augmentation et cette diminution dureront jusqu'à ce qu'on supprime le champ magnétique.

Il semblerait donc que si l'on place une source de radiation dans un champ magnétique et qu'on examine ses raies au spectroscope, celle-ci devraient se dédoubler, les unes augmentant, les autres diminuant de réfrangibilité, ou, si certaines ne subissent pas de changement, la raie pourrait être triplée. On pourrait encore concevoir, si le mouvement était d'une nature plus compliquée, que la ligne fût quadruplée ou sextuplée. Il semble, en tout cas, que la raie doive être affectée d'une façon quelconque, ne fût-elle qu'élargie. Quand le Dr Larmor prévit théoriquement ce fait et en établit les calculs en 1895 pour se rendre compte de la grandeur de l'effet qu'on en pouvait attendre, il admit naturellement, non pas que l'électron se déplaçait de lui-même sur un atome relativement fixe, comme on l'a dit plus haut, mais que l'atome lui-même vibrait ou tournait tout entier en emportant sa charge avec lui. Partant de cette hypothèse et se basant sur ce qu'il savait de la masse d'un atome, il conclut que l'effet serait trop faible pour être perçu. Bien des années auparavant, Faraday, sans guide théorique d'ailleurs, avait déjà recherché ce phénomène avec des appareils imparfaits et n'avait rien pu découvrir. Il n'y eut donc pas de nouvelle tentative expérimentale dans ce sens jusqu'au jour où Zeeman, en 1897, observa, au moyen d'un puissant réseau de Rowland et d'un fort électro-aimant, un phénomène très faible consistant en un élargissement des raies d'une flamme de sodium placée entre les pôles de l'électro.

Depuis lors, l'influence du champ magnétique sur la radiation des différentes substances a été laborieusement étudiée, non seulement par l'auteur de la découverte, mais par Preston à Dublin, Michelson en Amérique et d'autres. Chaque raie a été étudiée séparément ; certaines sont quadruplées, d'autres triplées, d'autres sextuplées, etc. Une raie du mercure se résout en onze composantes. Le phénomène est donc visible, quoiqu'une très grande puissance et des appareils parfaits soient nécessaires pour le déceler. Il devint ainsi évident que si ce sont des électrons en mouvement qui produisent la radiation, leur

mobilité ne peut pas être entravée par une grande masse de matière jointe à eux et se déplaçant en même temps. On put même, en mesurant l'amplitude du dédoublement des raies dans un champ donné, déterminer la quantité de matière associée à la charge électrique en révolution, pour toute substance donnée; en d'autres termes, on détermina l'équivalent électrochimique relatif à la radiation, c'est-à-dire le rapport $\frac{m}{e}$. Le professeur Zeeman a très habilement fait une mesure approximative de ce rapport peu de temps après sa découverte, quand il ne pouvait encore apercevoir qu'un léger élargissement des raies du sodium. Il a trouvé pour le rapport $\frac{e}{m}$ la même valeur que les rayons cathodiques avaient déjà fait soupçonner, c'est-à-dire que l'équivalent électrochimique est, dans ce cas encore, égal à 10^7 C. G. S.

Des mesures plus récentes ont confirmé cette évaluation et conduit à la conclusion que si les rayons cathodiques sont formés par des électrons en mouvement, la radiation est due à des vibrations ou à des révolutions d'électrons. Toutefois, ceci ne constitue pas encore une preuve de l'existence de masses si faibles par rapport aux atomes; il se peut qu'il n'y ait là qu'une remarquable coïncidence. De plus il est possible que, dans tous ces phénomènes, l'atome entier soit en mouvement, mais que sa charge électrique soit 1 000 fois plus forte que celle qu'on avait considérée jusqu'ici comme la charge atomique normale. Mais cette hypothèse, improbable même pour les rayons cathodiques, l'est encore plus dans le cas de la radiation. D'ailleurs, plus on étudie les détails de l'effet Zeeman, plus il devient clair que la théorie basée sur les électrons, par laquelle le professeur H.-A. Lorentz, puis Fitzgerald et Larmor, l'ont expliqué, est satisfaisante et complète (1).

---

(1) *Sur la théorie électronique de la magnétisation de la lumière.* — Longtemps avant qu'on eût vérifié expérimentalement l'existence indépendante des électrons, le Dr Johnstone Stoney, en 1891, les avait étudiés par les méthodes de l'astronomie. Il assimilait l'électron tournant autour d'un atome au satellite tournant autour d'une planète et discutait les perturbations diverses auxquelles il pouvait être soumis, ainsi que l'effet de ces perturbations sur le spectre de la lumière émise.

Une des perturbations les plus simples, c'est ce qu'on appelle une progression ou un recul de l'apside, c'est-à-dire une lente révolution de l'orbite dans son plan. Il fut prouvé que ce mouvement pouvait être cause de l'apparition d'un doublet dans le spectre; car, des deux vibrations en lesquelles on peut décomposer le mouvement, l'une est devenue plus rapide et par la suite la réfrangibilité de sa lumière s'est accrue, l'autre est devenue plus lente et la réfrangibilité de sa lumière a diminué.

Une autre perturbation du même genre, analogue à la précession des équinoxes dans le cas de la terre, aurait pour résultat de faire apparaître un triplet dans le spectre. Ce mouvement de précession se produit dans les orbites soumises à un effort oblique ou force fléchissante; l'axe décrit alors une sorte de cône, comme on peut l'observer dans le mouvement d'une toupie inclinée : l'effort de la pesanteur ne la fait pas tomber, mais donne lieu à une précession. De même, si l'orbite d'un électron se trouvait soumise à une force fléchissante, l'effet ne serait pas de la placer aussitôt dans une position perpendiculaire aux lignes de force, mais de la mettre en précession. Ce mouvement pourrait se décomposer en trois : une accélération et un retard du mouvement circulaire, comme on l'a dit ci-dessus, produisant un dédoublement de la ligne spectrale, et une troisième composante parallèle à l'axe, qui, n'ayant subi aucun changement, ferait apparaître la ligne spectrale dans sa position normale, entre les deux autres.

Telle est la principale perturbation que produit un champ magnétique sur une source de radiations. Mais il se peut qu'il en produise aussi d'autres de moindre importance, de même que, dans le cas de la Terre, l'axe n'est pas seulement soumis à la précession, mais aussi à la nutation. La ligne spectrale du milieu, ou les deux lignes extérieures, ou les trois lignes à la fois, peuvent ainsi se dédoubler, ce qui donne lieu, non plus au triplet normal mais à un quartet, un quintet ou un sextet. Preston a observé et photographié ces phénomènes dans les spectres de certains corps.

La découverte de Zeeman, interprétée par la théorie de Lorentz, a donc grandement augmenté la puissance de l'analyse spectrale dans les recherches sur les phénomènes de radiation et les propriétés des atomes; elle a ouvert à la science un domaine nouveau, qu'on pourrait appeler l'astronomie atomique, où les atomes et les électrons jouent le rôle de planètes et de satellites.

V. — Détermination de la masse d'un électron. — Toutes les mesures citées jusqu'ici ont eu pour résultat de nous faire connaître de façon certaine la valeur du rapport $\frac{e}{m}$ dans la conduction par les gaz et dans la radiation. D'autre part, les mesures faites sur les rayons cathodiques dans un tube de Crookes ou sur les fuites d'électricité qui se produisent sous l'influence des rayons ultra-violets, nous ont fait connaître la vitesse des particules chargées, vitesse qui est environ trente fois moindre que celle de la lumière. Mais nous n'avons fait jusqu'ici aucune évaluation directe des valeurs de e ou de m séparément. Ces mesures sont très difficiles, car les corps qu'on étudie sont réunis en nombre énorme, et ce nombre est inconnu. Il serait facile de déterminer la masse totale d'un ensemble de projectiles, soit Nm, (N étant le nombre des projectiles qui viennent heurter un obstacle dans un temps donné), au moyen de la chaleur engendrée par les chocs, ou mieux, peut-être, par la quantité de mouvement qu'ils communiqueraient à une tige mobile, comme dans le cas du pendule balistique, pouvu que leur vitesse u, fût connue, ce qui a lieu ici. L'énergie totale, $1/2\, Nmu^2$, ou la quantité mouvement totale, Nmu, pourrait ainsi être déterminée, mais comment séparer m de N ?

De même, si l'on recueille les particules chargées dans un récipient relié à un électromètre de capacité connue, il est facile de mesurer la quantité d'électricité qui s'accumule dans ce récipient en un temps donné, soit Ne, mais comment séparer e de N ?

Dans les recherches qui ont été rapportées jusqu'ici, on a déterminé expérimentalement les quantités suivantes :

$$\frac{e}{m} \quad u \qquad Ne \qquad Nm.$$

Il y a encore une autre quantité qu'il est relativement facile de déterminer, c'est le courant total transmis, surtout dans deux cas : celui des fuites d'électricité sous l'influence de la lumière ultra-violette et celui de la conductivité communiquée à l'air par les rayons Rœntgen.

S'il était maintenant possible de compter les particules ou électrons, de déterminer le nombre N de celles qui sont engendrées dans le tube de Crookes, ou qui s'accumulent dans un récipient, ou qui contribuent au transport du courant dans le cas des fuites causées par les rayons ultra-violets, il n'y aurait plus lieu de faire des hypothèses sur les valeurs de e et de m ; elles seraient dès lors déterminées.

C'est cette recherche qu'a brillamment effectuée le professeur J.-J. Thomson, au moyen d'une méthode due en partie à C. T. R. Wilson. Le point de départ est un fait découvert par M. Aitken et interprété au moyen d'un théorème d'hydrodynamique qui a été démontré par Sir George Stokes.

Les noyaux de condensation. — M. John Aitken, d'Édimbourg, découvrit en 1880 que les globules de vapeur des nuages et du brouillard ne peuvent se former sans la présence de noyaux solides de sorte que dans une atmosphère absolument sans poussières il n'y a pas de condensation de vapeur d'eau, ni par suite formation de brouillard. Sans surfaces solides, dans l'espace vide, les vapeurs se sursatureraient, mais l'introduction d'un noyau déterminerait aussitôt la condensation, les globules de vapeur se formant en nombre égal à celui des noyaux ou centres de condensation.

Chaque globule de vapeur est essentiellement une très petite goutte de pluie, qui ne flotte pas, mais tombe à travers l'air. Sa chute est lente en raison de son poids insignifiant et de la résistance du milieu. Si un courant d'air peut enlever un nuage à une certaine

hauteur, c'est parce que sa vitesse est supérieure à la vitesse de chute des gouttes d'eau (1).

La théorie de l'influence de la courbure sur la tension superficielle, due à Lord Kelvin, donne l'explication de cet effet des noyaux : la tendance à l'évaporation d'une surface liquide croît avec sa courbure, et une surface infiniment convexe se vaporiserait instantanément. Donc, un globule liquide infinitésimal ne saurait exister; la vapeur ne peut se condenser que sur une surface de courbure finie, comme celle d'une particule de poussière.

J.-J. Thomson. — Les noyaux électriques. — En 1888, J.-J. Thomson montra, dans son ouvrage intitulé : *Applications de la dynamique à la Physique et à la Chimie*, que l'électrisation d'un corps neutralise en partie l'effet de la courbure et favorise la condensation des vapeurs sur une surface convexe. Une charge électrique assez forte pourrait déterminer la condensation sur un corps de très faibles dimensions, aussi petit qu'un atome ou plus petit encore. Donc, là où existent des ions électrisés ou des électrons, la présence des particules de poussière n'est pas une condition nécessaire de la condensation; les vapeurs peuvent se condenser sur ces noyaux électriques.

Wilson. — Mesures appliquées à la condensation des vapeurs sous forme de nuage. — M. C.-T.-R. Wilson, en étudiant au laboratoire Cavendish l'influence des rayons de Rœntgen sur les condensations sous forme de nuage, imagina une méthode pour précipiter sous forme visible une quantité déterminée de vapeur d'eau : il soumettait de l'air saturé à une détente adiabatique dont il mesurait soigneusement la valeur. Le brouillard se formait aussitôt et les gouttes commençaient à tomber lentement. M. Wilson essaya d'évaluer leurs dimensions d'après les couleurs, mais il n'obtint pas de résultats satisfaisants.

J.-J. Thomson eut l'idée d'évaluer les dimensions de ces gouttes en observant leur vitesse de chute, ce qui est facile, puisqu'elles tombent toutes ensemble, étant de même volume. Un brouillard étant formé dans une cloche, il est facile d'en observer le dépôt en considérant sa surface supérieure, assez nettement délimitée, au-dessus de laquelle se trouve un espace transparent dont l'épaisseur croît à mesure que tombe le brouillard. La vitesse de déplacement de la surface supérieure du nuage donnera la vitesse de chute de chacun des globules dont il est formé.

Le professeur Stokes et la chute des sphères. — En 1849, Sir George-G. Stokes étudiait le mouvement des solides dans les fluides, entre autres le mouvement d'une sphère tombant à travers un fluide visqueux. On sait que les corps de grandes dimensions tombent à travers l'air, l'eau ou tout autre milieu résistant, plus vite que les petits corps de même forme. Les grosses gouttes de pluie tombent rapidement, les petites, lentement, et les globules de brouillard si lentement que leur mouvement est difficile à observer, mais c'est la même loi qui régit tous ces phénomènes, tant que le mouvement n'est pas trop rapide et si la surface du corps n'est pas de nature à causer des tourbillons pendant la chute. Une sphère tombant lentement, sans former de tourbillons, est le cas le plus simple. Elle atteint bientôt ce qu'on appelle sa vitesse finale, celle à laquelle son poids se trouve équilibré par la résistance visqueuse. Stokes a établi une formule simple, qui donne le rapport entre la vitesse d'une goutte de pluie et ses dimensions (2). Ayant mesuré cette

(1) Pour démontrer que le brouillard ne se forme pas sans la présence des poussières, on filtre de l'air plus ou moins soigneusement sur des tampons de coton et l'on constate que, dans les atmosphères ainsi obtenues, les brouillards diffèrent d'aspect à mesure que les particules de poussière deviennent plus rares : les gouttes sont plus grosses, plus espacées et tombent plus vite, comme une pluie très fine.

(2) La force résultante étant nulle, la vitesse est constante. Stokes a calculé cette vitesse constante c pour une

vitesse et connaissant la viscosité de l'air, il sera donc possible de calculer les dimensions des gouttes.

Le dénombrement des électrons par J.-J. Thomson. — L'expérience de J.-J. Thomson consiste à dénombrer les ions qui naissent dans l'air sous l'influence des rayons de Röntgen, ou les électrons émis par une surface électrisée négativement et éclairée par la lumière ultra-violette. On emploie une surface de zinc placée dans le vide et éclairée par des rayons ultra-violets qui traversent une pièce de gaze métallique située vis-à-vis d'elle; le récipient est hermétiquement fermé par une fenêtre de quartz, à travers laquelle passent les rayons. (Dans l'appareil présenté par Sir Oliver Lodge, la gaze métallique était remplacée par une surface d'eau.)

Si maintenant on adapte à cet ensemble un des appareils à expansion adiabatique de Wilson, on pourra produire une condensation déterminée et mesurer la vitesse de chute du brouillard qui se formera. Par le théorème de Stokes, on en déduit les dimensions de chaque globule. La quantité d'eau qui les a formés étant connue d'après la valeur mesurée de la détente, on peut déterminer le nombre de ces globules et, par suite, le nombre de leurs centres de condensation, c'est-à-dire des ions [1].

Cet ingénieux procédé de dénombrement aboutit à la détermination de la charge absolue et de la masse absolue d'un électron. Les diverses mesures exposées jusqu'ici nous ont fait connaître le rapport $\frac{e}{m}$ et la vitesse u. Nous avons déterminé aussi les quantités Neu, Ne et Nmu^2. Nous venons enfin de déterminer N, ce qui permet de séparer les termes du rapport $\frac{e}{m}$.

Comme on le prévoyait, la valeur de e, dans tous les cas, est celle de la charge ionique ordinaire, soit environ 3×10^{-10} unités électrostatiques ou 10^{-20} unités électromagnétiques. Pour les particules positives et pour les ions, m a la valeur normale de la masse des atomes présents. Mais pour les particules négatives libérées par la lumière ultra-violette et pour les autres cas où $\frac{e}{m} = 10^7$, les masses sont de l'ordre de 10^{-27} gr, c'est-à-dire 1/700 environ de la quantité de matière la plus petite et la plus légère connue jusqu'alors, l'atome d'hydrogène. On a donc démontré expérimentalement l'existence de masses plus petites que les atomes.

---

goutte d'eau de rayon r, tombant sous l'action de la pesanteur. La formule est :

$$c = \frac{2}{9} \frac{g \rho r^2}{\text{viscosité de l'air}},$$

ρ est l'excès de la densité de la sphère sur celle du milieu.

(1) Soit c la vitesse de chute dans une atmosphère calme ; les dimensions linéaires des gouttes seront (voir la note ci-dessus) :

$$r = \sqrt{\frac{9 \mu c}{2 g \rho}} = \sqrt{\frac{4,5 \times 0,00018}{981}}\ c \text{ cm}.$$

Dans un cas donné, la vitesse observée c était de 0,14 cm par seconde, le volume de chaque goutte était donc :

$$\frac{4}{3} \pi r^3 = 1,6 \times 10^{-10} \text{ cm}^3.$$

On trouva dans une de ces mesures que le nombre des gouttes était de 30.000 par cm^3. La quantité d'eau totale était $\frac{1}{200}$ de milligramme.

VI. Théorie électrique de la matière. — *Evaluation des dimensions des électrons.* — Si l'on adopte l'hypothèse que ce corps qui se meut ou qui vibre est une particule matérielle chargée d'électricité, ayant ainsi une double constitution et une inertie mixte, partie matérielle et partie électrique, — on ne peut aller plus loin. Mais si cette particule est un électron, une charge d'électricité et rien d'autre, un élément de l'atome, mais sans noyau matériel, de sorte que toutes les propriétés de l'atome doivent être considérées comme dues à un assemblage d'électrons; alors, dans cette hypothèse, la détermination de la masse d'une particule entraîne comme conséquence la détermination de ses dimensions.

En effet, comme on l'a déjà indiqué, pour donner à un fil une self-induction quelconque, il suffit de le faire assez fin, et pour donner à une charge électrique une énergie quelconque, il suffit de la concentrer. Pour une vitesse de déplacement donnée, l'énergie sera proportionnelle à la fois à la quantité d'électricité et au potentiel, et celui-ci peut devenir aussi grand qu'on veut, si les dimensions du corps qui reçoit la charge sont assez petites. La région où agissent les forces et où se produisent leurs effets est la régien voisine du fil ou de la particule chargée. Ainsi, dans la théorie purement électrique de la matière, la connaissance de la masse ou de l'énergie cinétique à une vitesse donnée suffit pour déterminer les dimensions des électrons qui la composent. Car, qu'il existe ou non une inertie intrinsèquement matérielle, il existe certainement une inertie électrique. La cause de celle-ci est connue : c'est la réaction des champs électrique et magnétique pendant les périodes d'accélération. On l'appelle self-induction.

Il se peut très bien qu'il n'y ait aucune sorte d'inertie. Dans ce cas, ce que nous appelons l'inertie de la matière ordinaire serait simplement l'inertie électrostatique ou self-induction d'un nombre immense de charges ioniques ou d'atomes électriques ou électrons.

D'après les mesures faites, la masse d'une particule est d'environ le 1/1 000 de celle d'un atome d'hydrogène, et sa charge est 10^{-10} en unités électrostatiques. Pour avoir l'inertie particulière à cette masse, il est nécessaire que cette quantité d'électricité soit concentrée sur une sphère de rayon égal à 10^{-13} cm. On peut en conclure que le diamètre d'un électron est de l'ordre de 10^{-13} cm, c'est-à-dire la cent millième partie de la dimension linéaire des molécules, 10^{-8} cm (1).

Dans un atome d'hydrogène, la masse est formée par 700 électrons. Dans un atome de mercure, il doit y en avoir plus de 100 000. Considérons donc un atome de mercure contenant 100 000 de ces corps renfermés dans une sphère de 10^{-8} cm de diamètre. Le volume entier de l'atome est 10^{-24} cm^3, le volume total de tous les électrons qui le composent est $10^5 \times 10^{-39} = 10^{-34}$ cm^3. L'espace vide est donc 10^{10} fois plus grand que l'espace occupé. Ainsi, à l'intérieur d'un atome de mercure, l'encombrement est comparable à celui des planètes dans le système solaire.

D'après un principe de la théorie cinétique des gaz, connu sous le nom de théorème de Loschmidt, on calcule que le trajet libre moyen d'un électron à l'intérieur d'un atome de

(1) Le calcul de cet ordre de grandeur est très simple pour les vitesses ordinaires, car on a alors :

$$m = \frac{\mu e^2}{a};$$

d'où

$$a = \frac{e}{m} e \equiv 10^7 \times 10^{-20} \equiv 10^{-13} \text{ cm}.$$

Cette dimension explique le pouvoir de pénétration des rayons cathodiques.

mercure est comparable à 10^{-5} fois la dimension d'un électron, c'est-à-dire que sa longueur est d'environ 10^{-4} cm. La distance réelle ainsi parcourue par des particules s'enfonçant dans un métal dense est donc très petite, un millième de millimètre seulement, et le trajet n'est pas nécessairement en ligne droite. Un écran de platine les arrête donc fort près de sa surface et laisse facilement émerger les rayons X engendrés par le choc.

Les masses en collision étant dans le rapport de 100 000 à 1, on pourrait évaluer le changement de vitesse causé par le choc. Mais ce choc, en réalité, est plutôt de genre astronomique, et l'effet produit est analogue à celui qu'on observe sur les comètes qui, attirées au passage par une planète, deviennent des astres permanents du système solaire.

L'arrêt se produira donc dans les limites de la grandeur de l'atome, 10^{-8} cm, et, par suite, l'accélération sera de l'ordre $\frac{u^2}{2l} = 10^{26}$ C. G. S. Les effets de radiation si énergiques qui se produisent n'ont rien d'étonnant : la puissance nécessaire pour arrêter, dans un espace aussi faible que l'épaisseur d'une molécule, un seul électron se déplaçant avec une vitesse trente fois moindre que celle de la lumière, s'évalue ainsi :

$$\frac{\text{énergie}}{\text{temps}} = \frac{1}{2} mu^2 \frac{u}{2l} = 10^{-27} (10^9)^3 10^8 = 10^8 \text{ ergs par seconde,}$$

ce qui équivaut à 10 watts. Le temps que dure l'arrêt est 10^{-17} seconde [1].

Sur les forces chimiques et moléculaires. — On sait depuis longtemps que l'affinité chimique est une force électrique. L'attraction électrique ordinaire entre corps chargés peut s'appeler une action chimique entre masses; seulement, il n'y a pas combinaison dans les cas ordinaires, parce que les charges opposées se déchargent par étincelle l'une dans l'autre quand elles sont assez voisines, ce qui met fin à l'attraction. L'idée que les forces chimiques sont réellement électriques remonte à Sir Humphrey Davy.

---

[1] *Justification de la théorie électrique de la matière.* — Comment peut-on maintenant justifier cette hypothèse, d'une si extraordinaire portée, que les électrons constituent la matière, que les atomes matériels sont formés par des charges électriques, et que l'inertie, propriété fondamentale de la matière, s'identifie avec la self-induction ?

On peut dire d'abord qu'il serait peu philosophique d'avoir deux systèmes pour l'explication d'une seule et même chose. Si l'inertie peut s'expliquer électriquement, par les phénomènes des charges en mouvement, il paraît inutile de chercher à lui assigner une autre cause. Mais, en outre, il est fort possible qu'on réussisse bientôt à vérifier expérimentalement l'hypothèse. On sait que lorsqu'une charge d'électricité se meut avec une vitesse peu différente de celle de la lumière, son inertie, théoriquement, n'est plus constante, mais s'accroît rapidement et devient infinie quand la vitesse de la charge égale celle de la lumière, du moins dans la théorie ordinairement acceptée.

Il se peut que dans certains cas les particules formant les rayons cathodiques atteignent une vitesse peu inférieure à celle de la lumière, ce qui permettrait d'observer l'accroissement d'inertie. Cette recherche expérimentale a été entreprise tout récemment par le Professeur Kaufmann (*Comptes rendus*, 13 octobre 1902), qui a comparé la déviation électrique et la déviation magnétique d'un même faisceau de rayons soumis alternativement ou simultanément à un champ électrique et à un champ magnétique ; on connaît ainsi la vitesse et le rapport $\frac{e}{m}$. Kaufmann a conclu de ses expériences que lorsque la vitesse s'approche de celle de la lumière, l'équivalent électrochimique $\frac{m}{e}$ s'accroît exactement de la quantité qu'indique la théorie électrique pure, c'est-à-dire la théorie qui attribue entièrement l'inertie à l'influence de l'électricité. On n'a observé aucun effet pouvant être attribué à une inertie complémentaire, comme celle d'une particule inerte de matière non électrique, se déplaçant avec chacun des projectiles, gardant son inertie constante à toutes les vitesses et par suite ne contribuant en rien à l'accroissement d'inertie qui se manifeste quand la vitesse approche de celle de la lumière.

L'hypothèse en elle-même est d'ailleurs si probable qu'on est fondé à tenter d'observer quelques-unes des conséquences de l'idée d'après laquelle tous les atomes de matière sont formés des mêmes unités fondamentales, composés d'aggrégats d'électrons positifs et négatifs, ceux-ci étant groupés cinématiquement de différentes façons et se tenant séparés par l'énergie de leurs mouvements propres.

Tout ce qu'on peut faire facilement au début, c'est d'imaginer les électrons groupés statiquement en dessins réguliers, peut-être en triangles, carrés ou hexagones, ou en figures à trois dimensions comme celles qu'on observe en cristallographie.

L'attraction chimique réelle se produit entre deux atomes, dont chacun contient un nombre impair d'électrons — un ou peut-être plusieurs électrons de signe donné se trouvant ainsi en surplus. Un tel atome a un centre de force par le moyen duquel il peut s'attacher aux autres atomes et s'accoupler ou se combiner chimiquement avec eux. Probablement une charge négative est un excès et une charge positive un défaut, et, quand l'accouplement se produit, l'excès de charge d'un des atomes compense le défaut de charge de l'autre et forme une molécule complète et neutre.

Cette sorte d'union, cependant, ne paraît jamais aussi étroite et aussi permanente que l'union des électrons dans l'atome lui-même ; la molécule se redivise facilement au même endroit sous des influences décomposantes et ne paraît pas pouvoir se partager d'autre façon en donnant naissance à de nouvelles subtances, sauf en chimie organique, où l'on peut diviser une molécule complexe de diverses manières, qui sont utilisées pratiquement pour produire des composés nouveaux.

Il est probable que la même décomposition est possible avec les corps simples, mais que ces soi-disant « éléments » constituent un groupe particulièrement stable, dont les composants, jusqu'ici n'ont été que partiellement réassociés en formes isomériques ou allotropiques et n'ont pas encore été séparés les uns des autres.

Quand la combinaison chimique se produit entre deux atomes portant des charges opposées, il n'y a pas de décharge électrique entre eux : les deux atomes gardent leur propre charge et s'attachent ensemble pour cette raison. Quand ils sont séparés, chacun d'eux est un ion et possède sa charge normale.

Il est possible de charger un assemblage de molécules neutres avec excès ou défaut d'un ou de plusieurs électrons, par les procédés de l'électrisation ordinaire, mais l'adhérence de ces électrons surnuméraires est faible et ils peuvent être détachés par l'ébranlement que leur donne la lumière ultra-violette et de bien d'autres manières. Les jets de liquide même en détachent quelques-uns (1). Et, dans le cas des molécules massives, leurs chocs réciproques ou leur agitation sous l'influence de la température ordinaire suffisent pour détacher quelques-uns des électrons peu adhérents, qui s'échappent alors tangentiellement avec la vitesse qu'ils avaient en décrivant leur orbite : c'est ce qui donne naissance aux phénomènes de la *radio-activité* (Voir VIIe partie).

Les forces moléculaires ; la cohésion. — L'adhérence des molécules se produit encore sous une autre forme, non pas chimique, mais, comme on l'appelle, moléculaire. Les atomes entre lesquels elle se produit ne possèdent pas des charges ioniques ou complémentaires comme ceux dont on vient de parler; chacun d'eux est absolument neutre et se compose de groupes d'électrons accouplés. A une distance moyenne quelconque, la force d'attraction entre les électrons accouplés est presque nulle, mais à une distance très faible elle peut être très grande et devenir presque semblable à la combinaison chimique, sauf en ceci, qu'elle donne lieu à une adhérence faible en une multitude de points, tandis que dans la combinaison chimique l'adhérence est énergique et concentrée en un seul point.

Considérons la surface extérieure d'un atome formé par le groupement régulier d'électrons de signes alternés. Ses surfaces équipotentielles sont des feuillets couverts de dépressions et de renflements ; elles paraissent presque lisses à un faible éloignement, mais à un éloignement moindre que la distance moléculaire et voisin de la distance qui sépare les électrons les uns des autres, les dépressions augmentent rapidement de profondeur et deviennent pareilles au capitonnage d'un matelas.

---

(1) Expériences de Lenard sur l'électrisation près des chutes d'eau.

Deux atomes semblables tendront donc à se fixer de telle sorte que les renflements de l'un s'ajustent aux dépressions de l'autre. C'est ce que font supposer les phénomènes de la cohésion (fig. 3).

D'après ces idées, les forces moléculaires sont de nature électrique, exactement comme les forces chimiques, mais elles se produisent entre des molécules chimiquement saturées et sont dues à l'action réciproque des électrons accouplés, s'exerçant à des distances intermoléculaires.

Les ions ne peuvent se combiner ainsi, car s'ils avaient des charges de noms contraires leur combinaison serait de nature chimique, et s'ils avaient des charges de même nom, ils se repousseraient énergiquement. Mais si, par une électrode métallique ou tout autre procédé, on permet aux ions de déposer leurs charges libres, ils cessent d'être des ions et dès lors se combinent chimiquement entre eux.

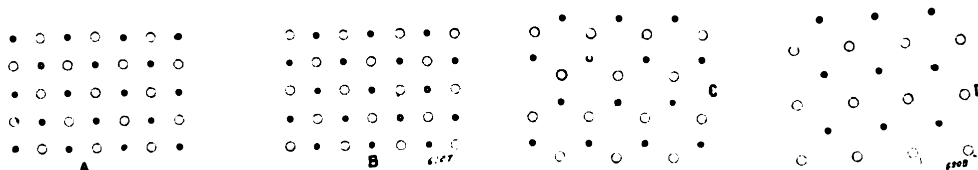


Fig. 3. Fig. 4.

Un ion peut naturellement contenir plus d'un électron libre et former un radical diade ou triade, et la façon dont un groupe neutre peut recevoir un électron étranger supplémentaire, et le transmettre par un rajustement rapide, est des plus instructives.

L'effet de la polarisation électrique sur un de ces groupes neutres d'électrons est remarquable. Un corps électrisé placé dans le voisinage a pour effet de détruire aussitôt l'équilibre et de modifier plus ou moins le groupement dans tout l'atome : il fait saillir légèrement les électrons négatifs d'un côté et les positifs de l'autre (fig. 4).

Si deux molécules étaient, l'une par rapport à l'autre, hors de la portée d'action moléculaire, et si, par exemple au moyen d'une source extérieure d'électricité, on pouvait donner à leurs surfaces voisines des charges de noms contraires, les forces de cohésion seraient momentanément intensifiées et la cohésion naîtrait à des distances supérieures à l'éloignement intermoléculaire. C'est, semble-t-il, ce qui a lieu dans un cohéreur. On ne peut pas *maintenir* par voie électrostatique les charges opposées entre deux surfaces métalliques voisines, mais on peut les produire par la secousse soudaine d'une décharge disruptive ou d'un choc électrique ; et ce sont en effet ces influences qui produisent la cohésion.

VII. — Résumé des autres conséquences de la théorie des électrons. — *Radioactivité.* — Si des électrons, décrivant des orbites, sont fixés à un grand nombre des atomes d'une substance, il est naturel de demander pourquoi les substances n'émettent pas constamment des ondes et ne dissipent pas leur énergie en radiations. Heureusement les brillantes recherches de Becquerel, de Curie et d'autres ont fait découvrir certaines substances dans lesquelles la radiation atteint une intensité perceptible. Il semble que cette radiation soit de nature complexe et se compose :

1° D'ondes ou pulsations analogues aux rayons Röntgen, probablement ;

2° De rayons analogues aux rayons Lenard ou cathodiques, formés d'électrons et d'ions émis en masse, certainement ;

3° De fragments détachés du corps, non chargés d'électricité, mais émanant de lui comme

une odeur et possédant comme le reste de la substance un pouvoir radiateur intrinsèque, qui peuvent se fixer à d'autres corps voisins et leur communiquer ainsi un pouvoir radiateur temporaire.

Les corps qui possèdent à un degré appréciable ce pouvoir radiateur ont un poids atomique très élevé, et leurs radiations sont dues probablement à des commotions, à des chocs atomiques internes, assez énergiques pour détacher, évaporer pour ainsi dire à tout instant quelques-unes des plus petites particules. Ces chocs engendrent aussi quelques faibles rayons Röntgen.

On comprend facilement que des chocs suffisamment brusques donnent naissance à des radiations de ce genre. Mais pourquoi les révolutions normales des électrons autour des atomes, dans une substance qui n'est pas le siège de violents phénomènes thermiques et dont les atomes n'ont pas une masse particulièrement grande, ne donnent-elles pas lieu aussi à une radiation et à une perte d'énergie perceptibles ? On a donné la réponse suivante :

Les radiateurs ne sont pas isolés ni indépendants, et la radiation de la surface est entretenue par les couches plus profondes de la substance. En outre, les radiateurs sont si rapprochés que dans l'espace du premier quart de la longueur d'onde, espace qui renferme une multitude d'entre eux, ils sont dans une multitude de phases différentes. Réunis en masse, ils produisent donc moins de radiations qu'un seul, leurs interférences nuisant à l'effet extérieur, comme il arrive pour deux tuyaux d'orgue voisins ou encore pour l'avant et l'arrière d'un fil métallique en vibration. Mais l'auteur croît que la véritable explication est celle-ci : toutes les substances émettent réellement des radiations à basse température ; si l'énergie se conserve et si la température reste constante, c'est simplement que la perte est égale au gain, non parce que la radiation s'arrête, mais parce qu'elle est compensée par l'absorption ; de sorte que pour évaluer la quantité de radiations qui se produit ainsi, il faudrait supposer le corps placé dans une enceinte au zéro absolu : là, son énergie cinétique se dissiperait sans doute rapidement.

En ce qui concerne les phénomènes photographiques et électriques dus à la radioactivité de certains corps rares, on a déjà suggéré qu'ils ne sont pas causés par la radiation proprement dite (sous forme de pulsations ou de rayons X, par exemple), mais plutôt par la projection de particules négativement électrisées ou électrons en général et quelquefois aussi, selon R.-J. Strutt, d'ions positifs.

Orages et aurores boréales. — La théorie des électrons a fourni des explications intéressantes de divers phénomènes astronomiques et météorologiques.

La théorie des aurores boréales a été récemment établie par Arrhénius, mais les émanations issues du soleil et la répulsion des petites particules à la fois par sa lumière et par son électrisation probable, sont des idées familières à l'auteur depuis plusieurs années. On peut consulter sur ce sujet Larmor, *Philosophical Transactions*, 1894, t. CLXXXV, p. 813 ; Lodge : *Taches solaire*, *Orages magnétiques*, *Queue des Comètes*, *Electricité atmosphérique*, *Aurores boréales*, dans *Electrician*, t. XLVI, p. 250, 7 décembre 1900 ; Fitzgerald, *Electrician*, 14 décembre 1900.

La terre est un écran exposé aux rayons cathodiques, ou plutôt aux électrons émis par un corps chaud, le soleil. C'est par une conséquence naturelle de ce bombardement électronique que la terre accumule graduellement de l'électricité négative, et le fait que ce torrent de particules constitue un courant électrique de grande intensité donne une facile explication de toute une catégorie d'orages, dont la méthode des variations simultanées a d'ailleurs montré depuis longtemps la liaison avec les taches solaires et les aurores

boréales. Les noyaux électriques serviraient aussi de centres de condensation à la vapeur d'eau atmosphérique aux altitudes élevées et pourraient ainsi influer sur les pluies.

Validité des anciennes idées. — Ayant définitivement accepté la thèse selon laquelle l'électricité (l'électricité négative du moins) est distribuée en petites charges, et considérant maintenant le courant comme la locomotion de l'électricité elle-même, on pourrait concevoir des doutes sur une théorie qui passait pour nouvelle il y a peu de temps, celle d'après laquelle l'énergie d'un courant électrique réside non dans le conducteur, mais dans l'espace circonvoisin. Il n'y a cependant là aucune incompatibilité. Tous les champs d'un électron lui sont extérieurs, or son énergie réside dans ses champs ; elle se transporte donc, quand il se meut, dans l'espace circonvoisin, car, dans cet espace, l'éther est soumis à un champ électrique et à un champ magnétique coexistants. L'inertie de l'électron réside donc aussi dans l'espace qui l'entoure, puisqu'elle s'explique par la force électromotrice qui prend naissance quand le champ magnétique varie, c'est-à-dire quand le mouvement de l'électron s'accélère.

Quand on traite de l'inertie de la matière, on suppose généralement que l'inertie réside dans la matière elle-même, tandis que l'inertie électrique, comme on l'a dit plus haut, réside dans l'espace entourant le noyau. On a cependant soutenu, au cours de ce travail, que l'inertie matérielle et l'inertie électrique ne sont qu'une seule et même propriété. Cette inconséquence apparente disparaît si l'on se représente à quel point la partie intense du champ d'un électron est locale et concentrée. Le champ magnétique décroît en proportion inverse de la distance au noyau en mouvement, il est donc absolument inappréciable à une distance bien inférieure à un millimètre, inférieure même à l'épaisseur d'un atome. Ce sont les dimensions extrêmement faibles de l'électron qui rendent possible cette concentration : même dans l'atome de mercure, le champ d'un électron ne se mêle pas à celui de l'électron voisin. Ils sont tous indépendants, chacun avec son inertie propre, presque isolé des autres. S'il n'en était pas ainsi, la masse d'un corps, dans la combinaison chimique, ne resterait pas constante, mais diminuerait. Peut-être y aurait-il lieu d'étudier si elle ne subit pas en effet une très légère diminution.

Il n'y a donc pas contradiction à affirmer, d'une part qu'un courant électrique est un transport d'électrons, et d'autre part que l'énergie du courant se déplace dans l'espace entourant l'électricité en mouvement. Il n'y a pas contradiction non plus à dire que la masse d'un corps réside dans ses atomes, et que l'inertie ou la quantité de mouvement sont des propriétés dues à l'influence self-inductive du champ magnétique qui entoure un noyau électrique en mouvement. De même pour le mode de propagation des courants. La vitesse de progression des électrons dans un solide peut être très grande, mais elle est bien inférieure à celle d'un signal télégraphique parcourant un fil. Ce qui met en mouvement les électrons, c'est une action latérale se propageant à travers l'éther, et non une poussée longitudinale. Le courant électrique est quelque chose de plus matériel qu'on ne le croyait il y a peu de temps encore, mais tout ce qu'on a enseigné sur son mode de propagation et sur la diffusion de la force propageante de l'extérieur à l'intérieur du conducteur, sur les trajets suivis par l'énergie, se répandant point par point dans le fil et s'y dissipant en chaleur, reste exact.

Nombre des ions dans les conducteurs. — On voit facilement le nombre immense des électrons qui sont nécessaires pour constituer la masse d'un fragment de platine ou d'un bloc d'une matière comme la terre. C'est aussi en nombre énorme qu'ils doivent se déplacer pour donner lieu aux intensités de courant qu'on observe normalement dans les liquides.

Quand il s'agit du nombre des électrons pouvant traverser un gaz, la limite est bientôt

rencontrée ; et, en effet, la conductivité d'un gaz ionisé décroît si l'on veut faire dépasser à l'intensité une certaine valeur appelée courant de saturation. (Voir les recherches de Townsend et d'autres.) Mais la détermination expérimentale de cette limite pour les solides et les liquides n'a pas encore été faite [1].

Conclusions.

De toute cette théorie, la partie la plus intéressante est l'explication de la matière par l'électricité : l'électricité serait en somme la substance fondamentale ; l'atome de matière, jusqu'ici considéré comme indivisible, en serait formé ; tous les atomes de toutes les substances seraient formés de ce seul élément. Le problème qui a toujours hanté l'esprit des physiciens, l'*unification de la matière*, serait théoriquement résolu. Ce qui est surprenant et suggestif aussi, c'est l'énormité des espaces compris à l'intérieur d'un atome par rapport aux dimensions des noyaux électriques qui le composent, de sorte qu'un atome est semblable à un système astronomique compliqué, comme l'anneau de Saturne ou plutôt peut-être comme une nébuleuse sans soleil, formée d'un grand nombre de corps de dimensions égales, inertes et soumis à des forces électriques attractives et répulsives, très puissantes, remplaçant la gravitation. La radiation d'une nébuleuse est peut-être due à des chocs et à des collisions assez semblables aux rayons X émis par certains atomes.

La différence est bien plus grande entre les dimensions d'un atome et celles d'un électron qu'entre celles du soleil et de la terre. Si l'on figure les électrons par des points ronds de 0,25 mm de diamètre (par exemple les points imprimés sur cette page), ils disposent pour leurs évolutions à l'intérieur d'un atome d'un espace comparable à 30000 m^3, où ils ne sont qu'au nombre de quelques centaines ou de quelques milliers; en d'autres termes, l'atome, à la même échelle, serait représenté par une église longue de 48 m, large de 24 m et haute de 24 m [2]. Et cependant, dans la théorie électrique de la matière, les électrons sont le tout de l'atome, ils « occupent » son volume, en ce sens que rien d'autre n'y peut pénétrer; malgré leurs faibles dimensions, ils sont pleins d'énergie et de force, et par leurs

(1) La vitesse de propagation des électrons dans les solides est inconnue, quoiqu'elle ait fait l'objet d'ingénieuses évaluations et soit considérée comme très grande. D'après la considération de la force centrifuge, la vitesse de chaque électron pendant une rencontre atomique serait égale à $\frac{e}{\sqrt{kmr}}$, ou environ 10^8 cm par seconde; le théorème de Maxwell sur la distribution égale de l'énergie entre les particules des gaz mélangés conduit à supposer que dans un solide où ils seraient libres, la vitesse moyenne des électrons serait de 10^7 cm ou 100 km par seconde; mais, chaque particule étant sujette à des changements de direction continuels, ceci ne représente nullement la vitesse de *progression* en ligne droite. Dans les liquides, au contraire, les particules sont attachées aux atomes, et la vitesse de progression est connue avec une grande exactitude par la théorie et l'expérience ; elle est comparable à 25 mm par heure pour les gradients de potentiel ordinaires.

Le constant total est *neu*. On peut compter le nombre des ions qui sont nécessaires pour donner l'unité C. G. S. d'intensité à une vitesse aussi faible.

$$e = 10^{-20} \text{ unités électromagnétiques};$$

donc, si l'on prend

$$u = 10^{-3} \text{ cm par seconde}.$$

Le nombre des ions nécessaires pour transporter l'unité C. G. S. de 10 ampères est $n = 10^{23}$. Ce nombre, d'ailleurs, n'a rien d'énorme ; c'est à peu près celui des atomes contenus dans un centimètre cube de liquide. En rétrécissant graduellement la section du conducteur liquide sous un gradient de potentiel donné, il semble qu'on pourrait reconnaître les symptômes de l'approche d'une densité limite du courant dans les liquides. Il faut observer cependant que l'exactitdde de la loi d'Ohm a été vérifiée dans ces conditions.

(2) Le texte original donne 12 m de hauteur (40 pieds anglais) ; mais avec ce nombre le volume de l'église prise comme terme de comparaison serait de 14400 m^3, soit environ la moitié du volume indiqué auparavant. (N. d. l. R.)

relations réciproques ils constituent ce qu'on appelle l'atome de matière, ils lui donnent son inertie et lui communiquent la propriété de se fixer aux autres atomes qui s'approchent à courte portée ; enfin l'excès ou le défaut d'un ou plusieurs élctrons donnent naissance aux propriétés chimiques.

Il ne faut pas s'étonner que ces atomes, composés seulement de corpuscules épars, puissent se déplacer sans résistance à travers l'éther. Ils sont liés les uns aux autres, mais, tant que leur vitesse est uniforme, ils ne sont pas liés à l'éther. Ils ne tendent pas non plus à l'entraîner avec eux. Toutes les lignes de force mécanique qui nous sont connues s'étendent d'atome à atome, elles ne se terminent jamais dans l'éther, sauf à la face antérieure d'une onde en progression. Mais ce dernier cas sort du domaine statique et par suite de notre sujet.

Il est trop tôt encore pour émettre une opinion sur la nature de l'électron, considéré comme phénomène.

On ne voit pas pourquoi les électrons positifs s'aggloméreraient avec tant de ténacité, tandis qu'un électron négatif en surplus pourrait se détacher facilement et se déplacer seul. La nature de la gravitation n'est pas non plus connue encore. Quand la théorie électronique aura été poussée jusqu'aux petites quantités du second ordre, on peut espérer que la propriété de la gravitation entrera en ligne de compte et en formera une partie ; jusqu'ici, c'est un fait d'expérience que nous observons sans le comprendre.

L'attention s'est principalement dirigée jusqu'à présent sur les éléments négatifs se déplaçant librement, — les charges positives, moins actives, semblent au premier abord moins intéressantes, — mais la façon dont se comportent les électrons ne peut se comprendre entièrement si l'on ne connaît pas aussi la nature et les propriétés de l'élément positif.

L'électron positif n'a pas encore été observé libre. Quelques-uns croient qu'il ne peut pas exister à l'état libre, qu'il n'est autre chose que le reste de l'atome de matière auquel une unité de charge négative a été enlevée ; ou, en termes vulgaires, que l' « électricité » repousse l' « électricité » et que la « matière » repousse la « matière », mais que l'Electricité et la Matière en combinaison forment une substance neutre qui est l'atome de matière tel que nous le connaissons. C'est là un retour frappant aux vues énoncées autrefois par Benjamin Franklin.

Si l'atome se compose d'électrons positifs et négatifs, en nombre égal, rangés en ordre alternatif ou décrivant des orbites qui se croisent, c'est là une idée qui n'appartient pas à Franklin, et qui n'est d'ailleurs encore qu'une conjecture. Pour en faire quelque chose de plus, il faut étudier la nature et les propriétés de la charge positive, et, si l'électron positif existe, il faut le déceler par l'expérience.

Il faut, en particulier, expliquer la nature intime, par rapport à l'éther, de la charge positive et de la charge négative, ce qui implique de longues recherches mathématiques de l'ordre le plus élevé.

P. L.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur les accumulateurs à oxyde rapporté, par **Lavezzari**. Mémoire présenté au Congrès international d'automobiles, Paris, 15-18 juin 1903.

Énergie massique à différents régimes de décharge. — L'auteur prend comme terme de comparaison un des types d'accumulateurs en usage à la Compagnie française de voitures électromobiles. Les voitures pesant 2 600 kg en ordre de marche avec 5 voyageurs, possèdent 44 éléments de 15 kg, soit un poids d'accumulateurs de 700 kg environ. La capacité maxima de ces batteries est 180 ampères-heure au régime de 40 ampères pour une tension qui varie de 86 à 75 volts. L'énergie maxima de la batterie est donc égale à $82.180 = 14\,760$ watts-heure. Par kilowatt-heure, il faut par conséquent compter $\frac{700}{14,76} = 47,4$ kg de batterie.

Les batteries étant retirées du service lorsqu'elles ne donnent plus que 135 ampères-heure, la masse énergique de batterie devient 63,2 kg par kilowatt-heure. Comme moyenne, on obtient $\frac{47,4 + 63,2}{2} = 55,3$ kg par kilowatt-heure, alors qu'il y a trois ans, on comptait encore 63 kg par kilowatt-heure.

La diminution est de 14 p. 100.

Si la batterie décharge seulement à 20 ampères, la capacité augmente de 1/5 et la masse énergique s'abaisse à 47 kg par kilowatt-heure.

Régime de charge et de décharge et rendement aux régimes normaux de charge et de décharge. — Les batteries employées étant à oxyde rapporté, c'est presque uniquement la charge lente qui est utilisée.

Pour un élément de 10 kg on commence en général à 20 ampères et on termine à 5 ampères. A l' « Electrique » le rendement obtenu est 65 p. 100 en quantité et 52 p. 100 en énergie ; mais les batteries sont ici surmenées par suite de leur trop faible poids (inférieur à 30 p. 100 du poids de la voiture). En prenant des voitures où ce rapport est plus élevé, on arrive à 80 p. 100 en quantité et 60,5 p. 100 en énergie. La même voiture au régime de 20 ampères, donne comme rendements, respectivement 87 et 70 p. 100.

Durée exprimée en nombre de charges, soit de l'ensemble des accumulateurs, soit des plaques positives. — En prenant comme exemple la voiture de 2 600 kg ayant 700 kg (soit 29 p. 100) d'accumulateurs, l'expérience montre que l'épuisement des batteries à 135 ampères-heure, soit une perte de 25 p. 100 de la capacité primitive de 180 ampères-heure, ne se produit qu'après une moyenne de 100 décharges. Un jeu de plaques négatives peut épuiser trois jeux de plaques positives, mais, après le premier changement de plaques positives, la capacité initiale est rarement retrouvée et le nombre de charges diminue après chaque changement. En admettant le chiffre de 100 décharges comme durée moyenne, on trouve un gain de 42 p. 100 sur la durée (70 décharges) trouvée en 1900.

L'auteur donne d'ailleurs les exemples suivants qui sont extraits du journal d'entretien d'une fabrique d'accumulateurs qui fait surtout la location avec entretien et sacrifie la capacité à la solidité.

1° Batterie de 44 éléments d'une capacité maxima de 180 ampères-heure à 40 ampères, sur une voiture à 4 places de la Compagnie française de voitures électromobiles, effectuant un parcours journalier moyen de 45 km à la vitesse maxima de 18 km à l'heure ; rapport du poids de la batterie au poids total de la voiture 29 p. 100.

Mise en service le 31 mai 1901, — lavage le 1er août 1901, — premier changement des positives, après 137 sorties, le 17 octobre, — lavage le 23 décembre 1901, — deuxième changement des positives après 237 sorties, le 4 février 1902, — lavage le 15 avril, — troisième changement des positives après 342 sorties, le 4 juin, — lavage le 3 septembre, — rentrée et démontée après 482 sorties, le 6 novembre.

Les négatives ont usé 4 jeux de positives.

2° Batterie du même type, effectuant un service semblable au précédent, mais sur voiture plus légère de la même Compagnie. — Rapport du poids de la batterie au poids total de la voiture 33 p. 100.

Mise en service le 25 juin 1901, — lavage le 30 obtobre, — premier changement des positives après 196 sorties, le 11 janvier 1902, — lavage le 24 avril, — deuxième changement des positives après 370 sorties, le 5 juillet. — Arrêt de la batterie du 5 juillet au 29 août 1902. Remise en service le 30 août, — lavage le 15 décembre. — Rentrée et démontée le 2 mars 1903, après 185 nouvelles sorties, soit en tout 555 sorties. Les négatives n'ont usé que 3 jeux de positives et ont subi 555 décharges.

3° Batterie de 44 éléments d'une capacité de 120 ampères-heure au régime de 32 ampères, en service sur une voiture à avant-train moteur, du poids de 1 800 kg en ordre de marche ; poids de la batterie : 500 kg, soit 28 p. 100 du poids total. Cette voiture fait un service particulier, sensiblement plus doux que celui des locations. Le parcours effectué par sortie ne dépasse pas 40 km à la vitesse de 18 km à l'heure.

Mise en service le 5 juin 1901, — premier lavage le 25 octobre, — deuxième lavage le 2 février 1902, — changement de plaques positives le 13 mai 1902, — arrêtée du 16 juillet au 8 octobre 1902, — lavage le 7 octobre, veille de la remise en service, — nouveau lavage le 3 février 1903, — rentrée et démontée le 2 avril 1903, — les négatives ont donc duré 20 mois, les premières positives 11 mois et les deuxièmes 9 mois. En raison de la nature du service, il est impossible de fixer le nombre exact des sorties.

L'auteur conclut de ces données que la batterie qui fournit le plus de sorties (n° 2) est celle qui possède le rapport le plus élevé (33 p. 100 au lieu de 28) entre le poids de batterie et le poids total. Quand les positives durent très longtemps, les négatives usent moins de jeux de positives. Le maximum de décharges que peuvent supporter les négatives est 500 à 550.

Enfin le premier jeu de positives dure plus longtemps que les suivants.

Durée et prix d'entretien d'accumulateurs. — Dans le but de diminuer le prix de revient des plaques, on tend à rendre la fabrication entièrement mécanique. Dans une usine d'accumulateurs où la fabrication est entièrement mécanique et où les oxydes sont fixés dans les grillages, à la presse hydraulique, un ouvrier peut arriver à préparer en 11 heures, 700 plaques, tandis qu'à la main, il n'en peut produire que 80 dans le même temps.

L'entretien des accumulateurs se réduit aujourd'hui presque exclusivement au remplacement des plaques et à l'amortissement, à longue échéance, des bacs et accessoires. Quant aux séparateurs en ébonite, il n'est pas exagéré de n'en prévoir l'amortissement qu'en 6 ou 7 ans. Or dans le prix de revient d'une batterie, les plaques n'entrent que pour la moitié environ et, par conséquent, les positives, pour le quart seulement de la valeur.

D'après les Compagnies l' « Electrique » et « l'Équipage électrique », l'entretien des accumulateurs, fait par ces Sociétés elles-mêmes, ne revient pas à plus de 4,5 fr par jour et par batterie. L'auteur trouve ce chiffre un peu faible et donne comme valeur basée sur plus de 26000 journées, la valeur de 5 à 5,2 fr par batterie et par jour, dans les conditions les plus défavorables.

Cette dépense est d'ailleurs subordonnée à un bon entretien. On doit vérifier fréquemment la densité du liquide, procéder de temps en temps (toutes les 40 ou 50 décharges) à des lavages, tenir les connexions en bon état, bien caler les bacs dans leur coffre, ne jamais laisser les batteries déchargées.

Conclusions. — D'après l'auteur, à part la fabrication mécanique, il n'y aurait pas de progrès entre les électrodes actuelles et celles de 1900. En revanche, des perfectionnements ont été apportés dans le montage des éléments.

Les séparateurs de plaques évitent les courts-circuits ; les chevalets supportant les plaques sont aussi élevés que possible afin de permettre le logement de la matière tombée. Les couvercles qui consistaient au début en simples plaques d'ébonite en plusieurs morceaux (à cause des connexions soudées), ont été remplacés par des pièces solides, parfois à double épaisseur, moulées, nervées et pourvues de bouchon avec compte-gouttes pour l'échappement des gaz. On est ainsi arrivé à éviter presque entièrement les renversements de liquide, causes de détérioration rapide des caisses et des bacs. La préparation des bacs a été aussi améliorée.

Les connexions qui au début donnaient lieu à de nombreuses difficultés sont maintenant satisfaisantes. Les câbles sous plomb soudés aux éléments, et qui se rompaient fréquemment et

rendaient très difficiles les démontages, sont remplacés presque généralement actuellement par des lames de clinquant fixées par des boulons de bronze aux queues des connexions des plaques. En entretenant dans un état de graissage convenable ces connexions, on évite les ruptures. En 1899 et 1900, dans un service qui comportait l'entretien de 10 batteries, on constatait par jour au moins une panne pour cause de bacs crevés et de ruptures de connexions. Dans un service semblable comptant 30 batteries, on n'a plus constaté, depuis la fin de 1900, qu'un bac crevé sur 1000 sorties, et en 30 mois, 2 pannes pour cause de rupture de connexions. Ces considérations montrent que les électromobiles répondent dans une large mesure aux besoins qu'elles doivent satisfaire : service de ville ou service de château à la campagne. Pour ces deux usages elles sont très supérieures aux voitures à moteurs thermiques ; la conduite en est plus facile et la marche plus sûre; de plus on n'éprouve pas avec elles les déboires causés par les caprices des moteurs à explosion. Mais il reste entendu que ce ne sont pas des voitures d'excursions et l'auteur estime que les courses à long parcours, autour desquelles on a fait grand bruit font le plus grand tort à la cause de l'automobilisme électrique, les voitures spéciales employées étant pratiquement inutilisables.

L. J.

Sur les couples électriques, par **G. Rosset.** Communication faite au deuxième Congrès international d'automobiles, Paris, 15-18 juin 1903.

Voici un résumé très sommaire de cette communication :

Accumulateur au plomb. — Après avoir rappelé que si on utilisait complètement la matière active, on devrait obtenir une capacité massique de 224,38 ampères-heure par kilogramme de peroxyde, et 258,53 ampères-heure par kilogramme de plomb spongieux, l'auteur indique qu'on ne dépasse guère 20 p. 100 de ces valeurs. Il dit être arrivé à obtenir, par un mode de préparation spécial, mais non indiqué, un oxyde extrêmement divisé, et capable de donner, pour 180 gr de matière, une capacité de 27 ampères-heure au régime de 1 ampère par décimètre carré, ce qui correspond à 150 ampères-heure par kilogramme de matière active positive. Le coefficient d'utilisation de celle-ci atteindrait donc 0,668 [1].

L'auteur passe ensuite en revue l'électrolyte, la grille-support, les séparateurs, les bacs et les caisses de groupement. Il donne sur ces différents sujets des considérations pratiques déjà connues, mais bien présentées. Donnant ses conclusions sur l'accumobile actuelle, il indique comme perfectionnement très désirable une amélioration du rendement des transmissions qui aurait le même résultat qu'une augmentation de la capacité massique de l'accumulateur.

Accumulateur plomb-zinc. — Théoriquement, 1 kg doit donner 819,8 ampères-heure. D'autre part, la force électromotrice du couple est supérieure de 20 p. 100 à celle de l'accumulateur au plomb. En pratique cependant l'énergie massique n'est pas supérieure à celle de l'élément au plomb puisque des expériences récentes d'Oscar Gabran ont donné pour cette énergie massique la valeur 23,14 watts-heure par kg d'élément.

Le zinc offre l'inconvénient de donner des actions locales énergiques et d'être en outre soluble.

Accumulateur plomb-cadmium. — La substitution du cadmium au zinc donne comme avantage la suppression des actions locales et une plus grande facilité d'obtention d'un bon dépôt. Malheureusement, s'il peut fournir une plus grande énergie massique que l'accumulateur au plomb, sa puissance massique trop faible ne procurerait pas un allègement de la voiture électrique. De plus, ce métal est en quantité excessivement limitée et sa production annuelle ne dépasse pas 14 à 15 tonnes dans le monde entier.

Accumulateur oxyde de cuivre-zinc. — Cet élément, de grande capacité massique ne donne néanmoins qu'une énergie massique comparable à celle de l'accumulateur au plomb, par suite de sa faible force électromotrice 0,8 volt. Indé-

[1] Tout dépend du régime de décharge employé; on a pu déjà obtenir des coefficients d'utilisation très voisins de cette valeur en faisant des décharges très lentes. Remarquons que le temps de décharge n'est pas indiqué ici, même implicitement, puisqu'on sait seulement que la plaque a donné 27 ampères-heure, mais qu'on ignore à quelle intensité de courant. Il est bien dit que le régime était 1 ampère par dm², mais la surface de la plaque n'est pas donnée.

pendamment des inconvénients dus à la présence du zinc qui agit comme électrode soluble, la présence de l'oxyde de cuivre crée de grosses difficultés, cet oxyde étant un peu soluble dans l'électrolyte. Il en résulte un dépôt de cuivre sur le zinc, d'où actions locales très énergiqnes.

Accumulateur au nickel. — Dans l'accumulateur Edison constitué de fer et d'oxyde de nickel, les deux électrodes sont insolubles et l'électrolyte ne participe pas aux réactions.

Le fer, se transformant en oxyde FeO, doit donner théoriquement une capacité massique de 957,5 ampères-heure par kilogramme. Les réactions à la positive à oxyde de nickel ne sont pas encore nettement définies.

Quoi qu'il en soit, l'auteur ne croit pas à l'avenir de cet élément comme élément léger par suite de sa faible force électromotrice. Pour être deux fois plus léger que l'accumulateur au plomb, il devrait en effet débiter à une intensité spécifique trois à quatre fois supérieure et alors non seulement la résistance intérieure commencerait à se manifester très nettement dans la tension, mais encore la vitesse de réaction ne permettrait sans doute ces fortes intensités que pendant les premiers moments de la décharge, et la capacité utilisable se réduirait par suite à fort peu de chose.

L'accumulateur au nickel ne serait donc appelé à rivaliser avec celui au plomb que sous le rapport de la solidité, en tenant compte, bien entendu, de son prix plus élevé.

Une des difficultés qu'il y a eu à surmonter dans cet élément, est la mauvaise conductibilité de l'oxyde de nickel : il reste à savoir si le graphite employé à cet effet résiste longtemps à l'oxydation énergique qui se passe à la positive pendant la charge.

Les piles à gaz. — Deux raisons militent en faveur de la pile à gaz. La première est leur capacité massique extrêmement élevée, à tel point que le poids du gaz est secondaire devant le poids du récipient formant vase clos pour le recevoir sous pression. En deuxième lieu, l'emploi du gaz, grâce à sa pression qui peut être réglée, peut permettre de maintenir constante et importante la concentration de l'un des facteurs utiles.

L'auteur a utilisé le chlore sous pression provenant de la dissociation de l'hydrate de chlore. La dissociation de ce corps a l'avantage de fournir à la fois du chlore pour l'attaque de la cathode et de l'eau pour dissoudre le chlorure formé, de telle sorte que les concentrations aussi bien du chlore que du chlorure produit se maintiennent sensiblement constantes. La force électromotrice reste alors constante pendant toute la décharge et la capacité utilisable, très élevée, est pratiquement indépendante du régime de décharge. L'auteur a obtenu dans un appareil de laboratoire, 120 ampères-heure par litre, c'est-à-dire 100 à 150 watts-heure par kilogramme, ce qui permet d'entrevoir le cheval-heure pour 5 kg.

Commelin et Viau ont réalisé un accumulateur oxygène-cadmium, mais c'est un appareil bien encombrant par son réservoir volumineux et par suite de la faiblesse de son débit spécifique ; il offre en outre les inconvénients de l'électrode soluble.

On peut supprimer le réservoir d'oxygène en prenant directement ce gaz dans l'air. C'est ainsi que dans la pile Rosset on emploie le nitrate d'ammonium pour jouer ce rôle d'éponge chimique puisant dans l'air son oxygène pour le restituer dans la pile dans l'acte de la dépolarisation. Ce dépolarisant est renfermé dans un vase poreux à membrane semi-perméable de ferrocyanure de cuivre, qui en évite la diffusion. Le zinc constitue la cathode soluble, et du chlorure d'ammonium le liquide excitateur, en vue de réparer, au fur et à mesure des besoins, les pertes inévitables du dépolarisant en ammoniaque, par combustion notamment, tant la réoxydation à l'air du dépolarisant réduit est énergique.

Mais à cause de sa résistance intérieure, cet élément, bien que d'une constance remarquable, ne peut débiter que de faibles courants.

Dans le même but, William Borchers s'est adressé au bioxyde de manganèse en présence de la chaux. Une fois appauvri en oxygène, ce mélange peut être réoxydé par un courant d'air à température moyennement élevée.

Conclusion.— L'auteur termine son mémoire en concluant que, de tous les couples, il convient de ne retenir, d'une manière générale, que ceux à force électromotrice élevée, non seulement par raison de puissance spécifique plus élevée, mais encore parce que la vitesse de réaction croît avec le caractère thermique de celle-ci et par suite avec la force électromotrice.

L'avenir réel serait à une pile primaire à cir-

culation, car dans ce cas la force électromotrice reste constante de même que la vitesse de réaction. En renouvelant notamment des gaz convenables dans les électrodes, on constituera ainsi un brûleur électrochimique transformant directement en énergie électrique la chaleur de combustion d'une manière complète et avec utilisation totale, en évitant le moteur thermique de si mauvais rendement.

Les gaz pourraient être produits électrochimiquement par l'énergie des chutes d'eau et on en pourrait faire sa provision en cours de route, comme le chauffeur fait son pétrole. L'avenir serait ainsi à la pile à gaz.

Coupes thermo-électriques. — Ces couples n'ont aucun avenir par suite de leur faible rendement, de leur faible force électromotrice, de leur résistance intérieure élevée ; les alliages les plus convenables sont en outre très fragiles.

L. J.

Sur l'accumulateur au thallium, par **L. Jonas**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 523, 25 juin 1903.

L'auteur examine ici l'emploi du thallium dans les accumulateurs. Disons de suite que cet accumulateur au thallium n'a qu'un intérêt théorique. En effet, outre le prix très élevé de ce métal, la force électromotrice en solution alcaline est très faible, et la capacité n'est pas plus élevée que celle d'un accumulateur au plomb.

1° *Electrolyse de l'hydroxyde de thallium. Recherche et analyse du dépôt anodique.* — Si on électrolyse une solution étendue d'hydroxyde de thallium, ce métal se dépose à la cathode, sous forme d'aiguilles ou de feuilles. A l'anode, il se dépose une couche mince d'oxyde. L'auteur a reconnu que cet oxyde a pour formule approchée Tl^2O^3. En appliquant la loi de Faraday, il a trouvé comme formule plus exacte $17\ Tl^2O^3$, Tl^2O soit encore $3\ Tl^2O^3 + Tl^3O^4$.

2° *Variation de la force électromotrice en fonction de la concentration.* — En prenant Tl^2O^3 comme formule de l'oxyde produit à l'anode, l'auteur donne comme équation représentant les réactions à la décharge



$$Tl^2O^3 + 4Tl + 3H^2O = 6\overset{+}{Tl} + 6(\overset{-}{OH})\,;$$

les réactions inverses se passent à la charge.

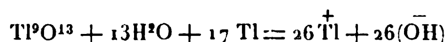
Il en résulte pour la variation de la force électromotrice Π de la chaîne $Tl^2O^3 \,|\, \overset{+}{Tl} \,|\, \overset{-}{OH} \,|\, Tl$ en fonction de la concentration des ions Tl et OH :

$$\Pi = \Pi_0 - \frac{RT}{4F} \log_{n\acute{e}p} C^6\overset{+}{Tl}.C^6(\overset{-}{OH})$$
$$= \Pi_0 - \frac{3RT}{2F} \log_{n\acute{e}p} C\overset{+}{Tl}.C(\overset{-}{OH})$$

Pour deux accumulateurs placés en opposition et dont les concentrations sont respectivement C_1 et C_2 on a alors

$$\Pi = \Pi_1 - \Pi_2 = \frac{3RT}{2F} \log_{n\acute{e}p} \left(\frac{C_2\overset{+}{Tl}.C_2(\overset{-}{OH})}{C_1\overset{+}{Tl}.C_1(\overset{-}{OH})} \right)$$

La force électromotrice serait très peu différente si au lieu de Tl^2O^3 on prenait $17\ Tl^2O^3$, Tl^2O. Dans ce dernier cas, en effet, on aurait pour l'équation de décharge



$$Tl^9O^{13} + 13H^2O + 17\ Tl = 26\overset{+}{Tl} + 26(\overset{-}{OH})$$

et

$$\Pi_1 - \Pi_2 = \frac{26\ RT}{17\ F} \log_{n\acute{e}p} \left(\frac{C_2\overset{+}{Tl}.C_2(\overset{-}{OH})}{C_1\overset{+}{Tl}.C_1(\overset{-}{OH})} \right)$$

ce qui représente seulement une différence de 2 p. 100 avec le premier cas.

L'auteur a mesuré expérimentalement la force électromotrice de la chaîne avec trois solutions de concentrations différentes.

La solution I consistait en un mélange à volumes égaux d'une dissolution de nitrate de thallium 1/5 normale et d'une dissolution 1/50 normale de soude caustique. Dans la solution II, on prenait les deux dissolutions 1/5 normales. Dans la solution III le nitrate de thallium était pris 1/50 normal et la soude 1/5 normale.

Le tableau suivant indique quelques-unes des valeurs obtenues (voir page suivante).

Comme il est impossible de déterminer exactement la concentration des ions thallium et hydroxyle dans ces solutions, l'auteur obtient un résultat approché en remplaçant le rapport des concentrations des ions par le rapport des conductibilités des solutions mélangées de soude et de nitrate de thallium.

C'est ainsi qu'on a

$$\Pi_I - \Pi_{II} = \frac{3}{2} .0{,}0581 \log \frac{0{,}1.117.0{,}1.183}{0{,}1.117.0{,}01.200}$$
$$= 0{,}0837 \text{ volt à } 20°C.$$

et

$$\Pi_I - \Pi_{II} = 0{,}0778 \text{ volt à } 0°C.$$

TEMPÉRATURE EN DEGRÉS C	0				20				0			
Temps en minutes depuis l'assemblage de la chaîne.	10	20	40	60	70	80	100	110	120	130	150	170
I $TlAzO^3$ 0,1 n. $NaOH$ 0,01 n. — Valeurs mesurées val. moy.	0,6123 0,6114 0,6118	0,6114 0,6104 0,6110	0,6104 0,6096 0,6100	0,6096 0,6090 0,6093		0,6396 0,6394 0,6395	0,6406 0,6396 0,6401	0,6406 0,6398 0,6402		0,6119 0,6090 0,6104	0,6104 0,6104	
II $TlAzO^3$ 0,1 n. $NaOH$ 0,1 n. — Valeurs mesurées val. moy.	0,5350 0,5316 0,5333	0,5328 0,5336 0,5332	0,5328 0,5338 0,5333	0,5338 0,5348 0,5343			0,5567 0,5573 0,5570	0,5581 0,5587 0,5584			0,5389 0,5370 0,5379	0,5393 0,5373 0,5383
III $TlAzO^3$ 0,01 n. $NaOH$ 0,1 n. — Valeurs mesurées val. moy.	0,6013 0,6009 0,6011	0,6013 0,6011 0,6012	0,6015 0,6005 0,6010	0,6019 0,6019 0,6019		0,6321 0,6319 0,6320	0,6329 0,6335 0,6332	0,6321 0,6335 0,6328		0,6037 0,6054 0,6045	0,6017 0,6030 0,6023	0,6017 0,6030 0,6023
Forces électromotrices $\Pi_I - \Pi_{II}$ $\Pi_{III} - \Pi_{II}$	0,0785 0,0678	0,0778 0,0680	0,0767 0,0677	0,0750 0,0676			0,0831 0,0762	0,0818 0,0744			0,0725 0,0644	 0,0640

De même on a

$\Pi_{III} - \Pi_{II} = 0{,}0814$ volt à 20°C. et 0,0757 volt à 0°C.

En comparant les valeurs calculées aux valeurs mesurées, on trouve

	VALEUR CALCULÉE	VALEURS MESURÉES 1re SÉRIE D'ESSAIS	VALEURS MESURÉES 2e SÉRIE D'ESSAIS
20 degrés C. $\Pi_I - \Pi_{II}$ $\Pi_{III} - \Pi_{II}$	0,0837 0,0814	0,085 — 0,083 0,075 — 0,076	0,083 — 0,082 0,075
0 degré C. $\Pi_I - \Pi_{II}$ $\Pi_{III} - \Pi_{II}$	0,0778 0,0757		0,078 — 0,075 0,068

Si on considère l'inconstance de la chaîne et le potentiel variable de l'électrode peroxyde de thallium, on voit qu'il y a accord satisfaisant entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées. Par conséquent le facteur $\frac{3}{2}$ est bien exact, et avec lui aussi la valeur 4F pour la réaction totale de la chaîne.

En ce qui concerne la capacité de l'accumulateur au thallium, l'équation de décharge montre que la valeur théorique de la capacité atteint respectivement 235,2 et 131,4 ampères-heure par kilogramme pour Tl^2O^3 et Tl, pendant que ces valeurs sont de 224,5 et 259,2 ampères-heure pour PbO^2 et Pb dans l'accumulateur au plomb.

Pour 1 F soit 96 540 coulombs, il faut engager

$$\frac{Tl^2O^3 + 3H^2O + 4Tl}{4}$$

soit $\frac{1\,326{,}6}{2}$ gr de poids total. On trouve ainsi qu'un gramme correspond à 291,1 coulombs. De sorte que théoriquement 1 kg d'accumulateur donnerait 80,7 ampères-heure tandis que l'accumulateur au plomb peut donner théoriquement 98,2 ampères-heure par kg. L. J.

ÉLECTROCHIMIE

La fabrication de la baryte au four électrique, par **H. Becker**. *L'Industrie Électrochimique*, 7e année, n° 7, p. 41, juillet 1903.

De nombreux procédés ont été proposés pour

la fabrication de la baryte, au four électrique, mais peu sont entrés dans la pratique. Les uns prennent pour point de départ la withérite ou carbonate de baryte, les autres la barytine ou sulfate de baryte.

La fabrication de la baryte, en partant du carbonate, est une opération simple et facile.

Il suffit, en effet, de transformer le carbonate en carbure de baryum et de décomposer ensuite ce produit par l'eau, pour obtenir d'une part de l'acétylène, d'autre part une solution de baryte que l'on peut faire cristalliser.

Les gisements de withérite sont malheureusement assez rares et ce produit est, par conséquent, d'un prix trop élevé pour que l'on puisse l'utiliser dans l'industrie électro-chimique.

A Foligno, en Italie, la *Fabbrica di carburi e derivati* fabrique au four électrique du carbure de baryum qu'elle décompose ensuite, par l'eau, en baryte et acétylène. Cependant le point de départ de cette fabrication est non pas la withérite, mais le carbonate de baryte produit dans la défécation des mélasses par la baryte et l'acide carbonique.

Les résidus de la défécation des mélasses sont mélangés dans des proportions déterminées avec du charbon, puis traités dans des fours électriques à soles mobiles. La masse déjà partiellement séchée finit de se dessécher, avant son arrivée dans les fours, pendant son passage dans les conduites d'alimentation de ces derniers.

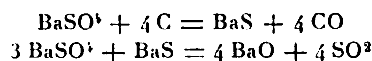
Chaque four est alimenté, par le haut, par un tube presque vertical qui se trouve au centre d'un autre tube de diamètre beaucoup plus grand. Entre ces deux tubes brûle l'oxyde de carbone qui se dégage du four. La combustion de l'oxyde de carbone est entretenue par l'air qui pénètre dans le gros tube par des ouvertures aménagées à cet effet dans les parois de ce dernier.

M. Becker ne croit pas que ce procédé soit employé ailleurs qu'à Foligno. Deux inconvénients lui paraissent devoir s'opposer à son développement. Ce sont : 1° la grande quantité d'eau que les écumes de défécation des mélasses renferment et qu'il faut éliminer ; 2° la nécessité d'être installé non loin des sucreries auxquelles on vend la baryte, à cause des frais de transport des écumes.

L'acétylène produit à Foligno, en traitant le carbure de baryum par l'eau, est utilisé à fabriquer du noir de fumée. Ce procédé qui, cependant, est très intéressant, a été breveté par MM. Giorgio Levi, Felice Garelli et la Societa Italiana di Forni Elettrici.

La Societa Industriale Elettrochimica di Pont Saint-Martin a fait breveter un procédé de fabrication [1] de la baryte en partant du sulfate de baryte. Son procédé consiste à faire d'abord du sulfure puis du carbonate qui est transformé ensuite en carbure. Ce procédé n'est qu'un groupement de procédés connus. M. Becker ne peut dire s'il est utilisé à l'usine de Pont Saint-Martin et même si on y fabrique de la baryte. En Autriche il existe une fabrique de baryte travaillant sans doute d'après le procédé Bradley et Jacobs. En France quelques usines ont essayé de faire de la baryte, mais ont rapidement abandonné pour des causes inconnues. Il n'en est pas de même aux États-Unis où une importante société « The United Baryum Company » qui fabrique actuellement 12 tonnes de baryte par jour a décidé de porter sa fabrication à 60 tonnes. Le procédé employé est celui de Bradley et Jacobs [2].

Ce procédé consiste à chauffer au four électrique la barytine additionnée d'une quantité donnée de charbon. Il faut mettre assez de charbon pour réduire une partie seulement du sulfate en sulfure. Il se forme ainsi d'abord un mélange de sulfate et de sulfure puis du sulfure et de l'oxyde. Les formules des réactions qui se produisent sont les suivantes.



$$BaSO^4 + 4C = BaS + 4CO$$
$$3BaSO^4 + BaS = 4BaO + 4SO^2$$

Ces réactions peuvent aussi être formulées ainsi :



$$BaSO^4 + C = BaO + SO^2 + CO$$

Ce procédé permet d'obtenir un mélange renfermant 60 p. 100 d'oxyde de baryum et à peu près 40 p. 100 de sulfure de baryum. La quantité de sulfate non décomposé est inférieure à 1 p. 100.

L'usine de la United Baryum Company comprend 3 fours de 400 HP, chaque four absorbant 2 400 ampères sous 120 volts [3].

(1) *L'Industrie Electro-chimique*, p. 31, année 1903.

(2) *L'Industrie Electro-chimique*, p. 58, année 1899.

(3) *Electro-Chemical Industry*, p. 16, année 1902.

Ces fours du type ordinaire sont revêtus intérieurement de blocs de carbone. Les électrodes qui sont placées verticalement sont élevées ou abaissées au moyen de petits moteurs électriques. Chaque électrode passe dans une ouverture carrée aménagée dans le couvercle du four formé d'une espèce de grille en tuyaux en fer parcourus par un courant d'eau et enfermés dans une matière non conductrice.

Les ouvriers chargés des fours, les alimentent très lentement à cause du dégagement tumultueux de gaz qui se produit si ce travail est fait trop rapidement.

A de certains intervalles on procède à la coulée de la matière. Cette dernière est mise sous forme de blocs d'environ 0,90 m × 1,20 m sur 7 à 8 cm d'épaisseur. Ces blocs sont concassés et la matière est traitée à l'eau chaude. La solution obtenue ainsi est abandonnée dans des cuves de cristallisation où l'hydrate de baryte $Ba(OH)^2$ 8 H^2O se sépare en cristaux. Ces derniers sont lavés rapidement avec de l'eau froide, essorés et emballés aussitôt. La solution qui renferme encore le sulfure de baryum est utilisée pour la fabrication de sels de baryte, soit de carbonate de baryte, soit de sulfure de baryum, deux produits qui ont des débouchés très importants et qui sont de plus en plus demandés.

De nombreux essais ont été entrepris à l'usine de la United Baryum Company en vue d'utiliser l'acide sulfureux à fabriquer de l'acide sulfurique. Une tonne de sulfate de baryte produit assez d'acide sulfureux pour faire une demi-tonne d'acide sulfurique à 50 p. 100.

La récupération de l'acide sulfureux diminuerait le prix de revient ; elle est aussi absolument nécessaire dans toute usine à baryte, à cause du voisinage sur lequel on ne peut déverser de telles quantités de gaz sulfureux.

DIVERS

Sur les déviations électrique et magnétique des rayons cathodiques rapides, par **H. Starke.** Mémoire présenté à la Société allemande de Physique, Berlin; voir les *Verhandlungen*, p. 241-251, séance du 26 juin 1903.

On sait que les rayons interceptés dans le rayonnement diffus d'une substance radio-active subissent, quand on les soumet à une déviation magnétique, un élargissement en forme d'éventail, ce qui prouve que ces rayons, loin d'être homogènes, se composent d'une série de rayons de déviabilités différentes. Comme, dans le cas de la déviation électrostatique, ce même phénomène s'observe avec encore plus d'éclat, M. Kaufmann a pu mesurer la vitesse et le coefficient $\frac{\varepsilon}{\mu}$ pour diverses sortes de rayons, grâce à une combinaison ingénieuse de ces deux effets. La diminution de $\frac{\varepsilon}{\mu}$, constatée pour deux vitesses croissantes, est due, paraît-il, à ce que la masse μ de la particule augmente ; cette masse, fonction de la vitesse doit être d'une origine électrodynamique et être affectée à la particule en raison de la charge de cette dernière. — M. M. Abraham, en faisant la théorie de l'électron en mouvement, en vient à la conclusion que le produit de $\frac{\varepsilon}{\mu}$ par une certaine fonction doit être constant, si vraiment la particule ne possède pas de masse proprement dite, matérielle, en dehors de celle dont il vient d'être question. Voici la valeur de cette fonction

$$\psi(\beta) = \frac{1}{\beta^2}\left[\frac{1+\beta^2}{2\beta}\,\mathrm{Log.}\left(\frac{1+\beta}{1-\beta} - 1\right)\right].$$

où $\beta = \frac{q}{t}$ est le rapport des vitesses de l'électron à la vitesse de la lumière.

Or, M. Kaufmann ayant démontré, avec la constance du produit précité, la nature purement électromagnétique de la masse de l'électron pour les vitesses de ce dernier présentées par les rayonnements du radium, l'auteur étudie la question de savoir si cette même constance s'observe encore pour l'intervalle des vitesses propres des rayons cathodiques. Comme, dans les recherches antérieures, les variations du quotient en question ne sortaient pas des limites des erreurs de l'expérience, M. Starke a étendu les déterminations relatives de $\frac{\varepsilon}{\mu}$ à des vitesses des rayons cathodiques aussi élevées que possible. Au delà d'un potentiel de décharge de 38 000 volts, les décharges ont toutefois perdu leur caractère continu, rendant impossibles les déterminations précises. Dans la plupart des expériences résumées par l'auteur, les variations de $\frac{\varepsilon}{\mu}$ ont été peu sensibles. La diminution de 5 p. 100 observée pour le potentiel de décharge maximum se prêtant à des observations, corres-

pond parfaitement à la formule de M. Abraham et à l'hypothèse d'une nature purement électromagnétique des électrons.

Il serait extrêmement désirable d'étendre l'intervalle des expériences à des potentiels de décharge supérieurs, en vue d'arriver à une solution définitive de cette question si importante pour la physique théorique.

A. Gradenwitz.

Sur la magnétostriction dans le bismuth, par **Edm. van Aubel**. *Archives des Sciences physiques et naturelles*, 4e période, t. XV, janvier 1903.

A propos du mémoire de Wills, mémoire analysé dans le numéro de *L'Éclairage Électrique* du 9 août 1901, (t. XXXII, p. 213) M. van Aubel a publié la note suivante qu'il vient de nous adresser :

« M. A. P. Wills vient de publier un intéressant mémoire sur la magnétostriction dans le bismuth (*Physical Review*, juillet 1902). Par des expériences minutieuses, en faisant usage de champs magnétiques intenses allant jusqu'à 3 200 unités C. G. S., ce physicien s'est proposé de vérifier si le bismuth subit un allongement lorsqu'il est soumis à l'action du magnétisme.

» Un tel allongement avait été constaté par Shelfort Bidwell, en 1888, et considéré comme très perceptible, déjà avec un champ magnétique de 470 unités C. G. S.

» Il me paraît utile de rappeler quelques travaux, qui ont été publiés antérieurement sur le même sujet et qui ont échappé au physicien américain ; de leur ensemble, on peut déduire la même conclusion que des recherches de M. A. P. Wills.

» Tyndall ([1]) est probablement le premier qui ait examiné la question, mais il n'a observé aucune variation de longueur du bismuth.

» Plus tard, G. P. Grimaldi ([2]) s'est proposé de rechercher si la grande influence exercée par le magnétisme sur la résistance électrique et le pouvoir thermo-électrique du bismuth pouvait être expliquée par des déformations que ce métal subirait dans le champ magnétique. Il n'a pu constater, avec un appareil très sensible, aucune variation de longueur dans des barreaux de bismuth ayant 30 à 40 cm.

» En 1892 ([1]) j'ai examiné aussi l'influence de l'aimantation sur la longueur d'un barreau de bismuth, en employant la méthode des franges d'interférence de Fizeau et utilisant une tige de bismuth ayant 31 cm de longueur. Celle-ci avait été réalisée avec le métal absolument pur, qui a servi à Classen pour la détermination du poids atomique et aussi dans mes recherches sur la résistance électrique. Néanmoins aucun allongement n'a pu être décelé.

» Dans le numéro du 22 juin 1899 de *Nature*, London, page 191, se trouve le compte rendu de la séance du 16 mai 1899 de la Société royale d'Edimbourg. Nous y lisons :

« Le Dr C. G. Knott a communiqué une
« courte note sur les tensions magnétiques dans
« le bismuth. Il a obtenu une légère indication
« d'un changement de forme du bismuth forte-
« ment aimanté, mais le phénomène était si fai-
« ble qu'il était plus prudent, provisoirement,
« de réserver son opinoin. »

» Quelques jours après, Shelford Bidwell fit remarquer dans la même revue ([2]) qu'il avait observé en 1888 (*Philosophical Transactions*), avec une barre de bismuth, un allongement de 1,5 dix millionème de la longueur pour un champ magnétique de 840 unités C. G. S. Il avait depuis lors répété la même expérience avec un autre échantillon de bismuth, fourni par MM. Johnson et Matthey ; mais, bien que le champ magnétique fut porté maintenant jusqu'à environ 1500 unités, il ne put observer la moindre indication d'un changement de longueur ([3]). Cependant un allongement dix fois plus faible que celui observé antérieurement aurait pu être remarqué. Aussi Shelford Bidwel ajoute :

« Après cette expérience j'hésiterais à atta-
« cher de l'importance à des observations sem-
« blables, à moins que l'analyse n'eût prouvé
« auparavant que le bismuth employé était
« exempt de toute trace de métaux magnéti-
« ques. »

» Cet article intéressant est suivi de quel-

([1]) Tyndall. On some mechanical Effects of Magnetisation, publié dans ses *Researches on Diamagnetism and Magne-Crystallic Action*, London 1870.

([2]) *Il Nuovo Cimento*, 3e série, t. XXIII, p. 211, 1888. *Journal de physique*, 2e série, t. VIII, p. 552, 1889.

([1]) *Journal de physique*, 3e série, t. I, p. 424, 1892. Gustave Wiedemann, *Die Lehre von der Elektricität*, 2e édition, t. III, p. 1023, 1895.

([2]) *Nature*. London, 6 juillet 1899, p. 222.

([3]) « There was never the smallest indication of any magnetic change of lenght. »

ques lignes de M. C. G. Knott, qui reconnaît la nécessité d'opérer sur un métal pur, mais déclare ne pas s'être préoccupé spécialement de ce point dans ses expériences. Dans une lettre qu'il me fit ultérieurement l'honneur de m'adresser, le même physicien m'écrivait qu'il considérait le bismuth sur lequel il avait opéré comme certainement impur, quoique ce métal lui eût été fourni comme aussi pur que possible. L'effet observé était d'ailleurs très faible et douteux.

» Le 17 août 1899 (¹), la revue *Nature* publiait une petite note que je lui avais adressée sur le même sujet, dans laquelle je faisais remarquer que j'avais réalisé des expériences analogues, avec un bismuth dont la pureté n'était point douteuse et par une méthode plus sensible.

» Cette bibliographie montre que toutes les expériences faites jusqu'ici concordent, pour établir qu'un barreau de bismuth pur ne change pas de longueur dans le champ magnétique.

» Les expériences de M. A. P. Wills, entreprises vraisemblablement aussi avec un métal pur et dans des champs puissants allant jusqu'à 3 200 unités C. G. S., viennent confirmer encore les résultats antérieurs. »

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 27 mars 1903.

M. Scott, président, ouvre la séance par quelques réflexions sur les difficultés passées et futures des transports d'énergie à grande distance. Il insiste sur la nécessité d'une coopération intime de toutes les forces intellectuelles et matérielles conviées à la solution de ces grands problèmes.

L'ordre du jour, comporte plusieurs communications et une discussion intéressante sur diverses questions se rattachant aux lignes à hautes tensions.

Données mécaniques d'un support-type d'isolateur, par **R.-D. Mershon**. *Transactions of the Am. Inst. of. El. Eng.*, t. XX, p. 415-419, avril 1903.

L'auteur se propose de déterminer les caractères d'un support d'isolateurs de type uniforme. Un tel support devrait d'abord présenter une résistance constante au cisaillement en toute section transversale; l'auteur considère donc un cylindre encastré à une extrémité et chargé à l'autre. Pour une charge donnée, on aura entre le diamètre d de la section et sa distance x à l'extrémité chargée la relation

$$d = Kx^{\frac{1}{3}},$$

où K est une constante déterminée par la charge maxima que le support devra subir.

Le point faible des supports est généralement l'endroit où ils sont fixés dans la traverse. Les dimensions les plus usitées aux États-Unis sont les suivantes : diamètre à la partie inférieure, 37 mm; distance du conducteur à la traverse, 12,5 à 15,5 cm : En supposant $d = 37$ mm, $x = 127$ mm, la valeur de K, dans la formule ci-dessus, serait $K = 7,36$. L'auteur en déduit la forme théorique d'un support d'isolateur d'égale résistance; c'est une sorte de paraboloïde cubique très allongé et pouvant être assimilé à un tronc de cône. Il suffira donc d'en déterminer les sections extrêmes pour définir le support.

L'auteur propose de donner des dimensions identiques pour la partie filetée de tous les supports. Cette portion aurait la forme d'un tronc de cône à bases de 25 et 38 mm de diamètre. La génératrice du filet serait un triangle rectangle isocèle, dont le quart de la partie supérieure serait enlevée; le pas serait de 6 mm; la longueur du tronc de cône, de 63,5 mm.

Le corps du support se terminerait par un épaulement d'une épaisseur de 4,75 mm, et d'une largeur de 6 mm. P.-L. C.

Les essais des isolateurs, par **F.-O. Blackwell.** *Transactions of the Am. Inst. of. El. Eng.*, t. XX, p. 421-426, avril 1903.

Dans cette communication, l'auteur examine

(¹) *Nature*, London, 17 août 1899, p. 374.

les qualités requises pour un bon isolateur pour hauts potentiels et les méthodes destinées à les éprouver. Les tensions que l'on peut employer dans les grands transports d'énergie ne sont limitées que par la résistance diélectrique des isolateurs ; il en est, par suite, de même des distances auxquelles on peut transporter cette énergie. Selon l'auteur, aucun essai d'isolateur ne vaut l'épreuve pratique dans les conditions de service de la ligne à laquelle il est destiné ; mais il n'est pas possible de placer un isolateur neuf sur une ligne, sans l'avoir éprouvé sous des efforts mécaniques et électriques doubles de ceux du service.

La question de la durée de l'essai a une grande importance, l'expérience ayant montré que des isolateurs n'ont pas résisté à l'application prolongée de tensions plus basses que celles d'un essai de courte durée.

Il faut tenir compte aussi de la forme de la courbe de force électromotrice ; la distance explosive dans l'air dépend du maximum de la différence de potentiel, mais dans les isolants solides ou liquides, l'auteur attribue plus d'importance à la différence de potentiel efficace. Enfin l'état hygrométrique de l'air et sa raréfaction sont aussi à considérer dans certains transports à travers des régions montagneuses ; la distance explosive est de 25 p. 100 plus grande dans un brouillard que dans l'air sec.

L'auteur examine ensuite les qualités des appareils d'essai.

Les alternateurs employés dans les grands transports d'énergie donnent généralement une force électromotrice sinusoïdale ; l'alternateur d'essai devra en donner une également. La réaction d'induit devra être faible et pour cela, la capacité de l'alternateur beaucoup plus grande que ne l'exige l'essai. Il est aussi à désirer que le circuit magnétique présente une grande réluctance afin d'assurer la stabilité aux faibles excitations et de pouvoir régler cette excitation avec un rhéostat de champ de dimensions raisonnables.

L'auteur recommande de n'employer qu'un seul transformateur pour élever la tension, sa réactance doit être faible. Il a eu l'occasion de faire des essais avec des transformateurs en série et une génératrice à forte réaction d'induit ; la distance explosive, à différence de potentiel égale, variait beaucoup suivant la saturation magnétique des appareils et le nombre d'isolateurs en essai.

Les isolateurs seront d'abord examinés au point de vue des fentes ou des soufflures ; l'émail dans le cas de la porcelaine doit s'étendre sur toute la surface extérieure ; les parties non émaillées donnant lieu à des dépôts de poussière. La meilleure qualité doit présenter une cassure polie, comme le verre, et n'être pas hygroscopique. L'essai de tension se fait à la manière connue, dans de l'eau salée. Quand l'isolateur se compose de plusieurs pièces, chacune d'elles est soumise à une tension plus élevée que celle qu'elle a à supporter dans l'isolateur monté. La pratique de la tension double est excellente pour les isolateurs où l'on applique cette tension pendant une minute, ce que la pratique a prouvé suffisant.
A ce propos, l'auteur rappelle que sur une ligne triphasée de 50 000 volts, la différence de potentiel entre chaque fil et la terre est de 30 000 volts environ ; un essai de 100 000 volts correspond donc à un facteur de sécurité de 3,5 environ ; si l'un des conducteurs est mis à la terre le facteur de sécurité n'est plus que 2.

L'essai à sec de l'isolateur n'a pas grande valeur ; il n'est destiné qu'à déterminer la tension de rupture entre le support et le conducteur, le long de l'isolateur, et dans l'air sec ; la mesure de la longueur de ce chemin conduit au même résultat. L'essai à l'état humide se fait en projetant sur l'isolateur de l'eau dans une direction à 30° sur l'horizontale, au moyen d'une pomme d'arrosoir et sous une pression de 3,5 kg. Ce sont à peu près là les conditions d'un orage. Il ne doit pas se produire d'arc à une tension inférieure à celle qui existe entre les conducteurs en service.

Les supports d'isolateurs en bois ne peuvent jamais entrer en ligne de compte comme isolants ; il vaut mieux employer des supports en fer ou au moins à noyau de fer.

Dans l'essai mécanique de l'isolateur monté sur son support, on doit pouvoir appliquer un effort dix fois supérieur à celui qui résulte de la pression du vent, à une vitesse de 160 km à l'heure, sur le conducteur. Le conducteur doit également glisser à travers les attaches en cas de rupture.

P.-L. C.

Disposition relative des conducteurs de hautes tensions et des fils téléphoniques, par **P-M. Lincoln.** *Transactions of the Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p. 427-435, avril 1903.

Dans cette communication, l'auteur examine les causes des perturbations dans les lignes téléphoniques parallèles à des lignes de hautes tensions et indique les moyens de les prévenir.

La sensibilité du récepteur téléphonique est telle que l'énergie dépensée dans une lampe de 16 bougies est capable de produire un son perceptible dans 30 000 millions de récepteurs ! Les causes capables d'influencer une ligne téléphonique sont de trois sortes : 1° l'induction électromagnétique ; 2° l'induction électrostatique ; 3° les fuites dans l'air.

L'auteur considère une ligne de distribution triphasée a, b, c disposée en triangle équilatéral, le côté $a\,b$ étant parallèle et disposé symétriquement au-dessus des deux conducteurs m, n d'une ligne téléphonique. L'influence électromagnétique du circuit a, et b sur m, n est évidente ; en transposant les deux fils m, n les forces électromotrices induites dans deux portions consécutives se neutraliseront, sans qu'il soit nécessaire de transposer les conducteurs a et b. Il se produirait toutefois, dans ce cas, une induction dissymétrique dans les circuits formés par les fils m et n et la terre ; mais cette influence est négligeable devant l'induction électrostatique.

L'influence électrostatique du conducteur a sur les fils m, n étant inégale et variant constamment, il se produit une variation continuelle du courant de charge sur les fils m et n et cette action est renforcée par l'influence du fil b, dont la charge est de signe contraire à celle de a. La transposition des fils m et n neutralisera aussi cet effet [1].

La neutralisation ainsi obtenue n'empêche nullement une différence de potentiel plus ou moins élevée de s'établir entre les fils téléphoniques et la terre. L'influence électrostatique maintient les fils au même potentiel que le point neutre du système triphasé, en entendant par là le lieu des points pour lesquels la différence de potentiel efficace entre les trois fils et ces points est la même. Dans les conditions normales, ce point neutre est au potentiel de la terre ; mais si le potentiel de l'un des conducteurs par rapport à la terre s'abaisse, sous l'effet d'un défaut d'isolement, la différence de potentiel entre le point neutre et la terre augmentera. Quand dans un système triphasé, l'un des conducteurs est mis à la terre, la différence de potentiel entre le point neutre et la terre est maximum et égale aux 58 p. 100 de la tension de distribution.

La distribution des potentiels sur le système de la ligne à haute tension, des fils téléphoniques et de la terre dépend de la capacité entre les deux premières parties et les deux dernières de ce système. On peut considérer le système comme deux condensateurs en série, sur lesquels les potentiels seront répartis en raison inverse des capacités, et comme ces capacités sont du même ordre avec les dispositifs habituels, la différence de potentiel entre la ligne téléphonique et la terre seront à peu près la moitié de la différence de potentiel entre le point neutre de la ligne triphasée et la terre. Il n'est donc pas étonnant que, au moment où une terre se produit sur la ligne à haute tension, la ligne téléphonique soit presque toujours mise hors de service parce que l'isolement par rapport à la terre d'une telle ligne n'est pas prévu pour résister à quelques milliers de volts !

La ligne téléphonique fonctionnera malgré la différence de potentiel qu'elle présente par rapport à la terre, à condition qu'elle soit bien isolée, dans toute sa longueur, sans quoi il se produira des courants de décharge perturbateurs. Les personnes appelées à se servir du téléphone doivent être également très isolées du sol, moins à cause de la force électromotrice induite que du contact possible avec la ligne à haute tension.

La transposition des fils téléphoniques s'impose, comme il vient d'être dit, mais l'auteur estime moins nécessaire la transposition des conducteurs à haute tension ; avec une ligne à conducteurs non permutés, l'influence sur une ligne téléphonique à fils permutés se borne à des effets entre ces fils et la terre, effets toujours très faibles en comparaison de ceux résultant de lignes triphasées non équilibrées.

[1] Les deux sortes d'influences, électromagnétique et électrostatique, se traduisent l'une par des perturbations de potentiel, l'autre par des perturbations de courant. Dans ce dernier cas, il se produit de véritables courants de neutralisation aux points de croisement. L'emploi de récepteurs en série doit donc être rejeté pour celui de récepteurs en dérivation.

De ce qui précède, l'auteur conclut qu'il y a intérêt à augmenter le plus possible la capacité entre la ligne téléphonique et la terre et à réduire la capacité entre la ligne de distribution et la précédente. Le meilleur moyen, selon l'auteur, pour atteindre ce résultat est de placer un ou plusieurs fils de terre au voisinage de la ligne téléphonique, tout en éloignant le plus possible cette ligne du circuit à haute tension.

P.-L. C.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

SECTION DE GLASGOW

Séance du 10 février 1903.

Etude du phénomène de résonance dans les circuits électriques à l'aide des oscillogrammes, par **B. Field**. *Electrician*, t. L, p. 979 et suiv., 3-10-17, avril 1903.

L'auteur se propose de décrire certains phénomènes de résonance électrique qu'il a observés en étudiant l'onde de force électromotrice des génératrices de 2500 kilowatts qui alimentent le réseau des tramways municipaux de Glasgow. Il s'est servi dans ces expériences de l'oscillographe à haute fréquence de M. Duddell.

Les génératrices sont des alternateurs triphasés à 6500 volts, faisant 75 tours par minute. L'induit, fixe, présente deux encoches par pôle et par phase ; l'inducteur a 40 pôles. Les oscillogrammes ont été pris sur le circuit à basse tension d'un groupe de transformateurs dans une des sous-stations. Chacun de ces groupes se compose de trois transformateurs monophasés de 200 kilowatts, reliés en triangle ; ils alimentent des commutatrices.

Le tracé de la courbe de force électromotrice des alternateurs montre la présence d'harmoniques d'ordre élevé; on en voit aussi sur les courbes de la force électromotrice et du courant, prises sur l'enroulement à basse tension des transformateurs. Enfin la courbe représentative de la différence de potentiel entre les balais d'une commutatrice, au lieu d'être une ligne parfaitement droite, présente de petites ondulations, au nombre de 12 par période. Comme il y a précisément 12 dents par période dans l'induit des alternateurs, il est fort probable *a priori* que ce sont elles qui donnent naissance à ces ondulations. L'auteur s'en est d'ailleurs convaincu par d'autres expériences.

L'accentuation de ces harmoniques peut se produire de deux façons différentes :

1° Par une forte magnétisation des dents de l'armature, produite par les courants induits eux-mêmes.

2° Par la résonance pure et simple.

Ces deux phénomènes, dont les effets sont semblables, s'expliquent de façons différentes. Considérons la courbe de la figure 1, qui

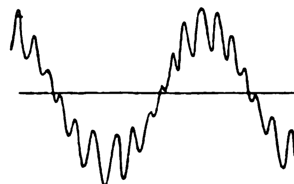


Fig. 1.

représente l'onde de force électromotrice de l'alternateur, quand celui-ci débite un courant décalé en arrière presque égal au courant de pleine charge. Ce courant décalé en arrière implique une très forte excitation ; le courant induit est démagnétisant et exerce son effet maximum quand le pôle est dans la position la plus favorable pour la magnétisation des dents. La courbe de la figure 2 représente l'onde de

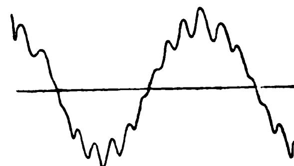


Fig. 2.

force électromotrice pour un courant décalé en avant ; dans ce cas, l'excitation est faible et les courants induits renforcent le flux dû aux bobines inductrices. Ici encore, l'effet de magnétisation sera maximum pour une certaine position de pôle. Dans le troisième cas, représenté par la figure 3, il n'y avait en circuit qu'un petit nombre de câbles et le courant débité par l'alternateur était trop faible pour qu'on pût le mesurer au moyen des appareils de l'usine. C'était un cas de résonance.

Après avoir rappelé la théorie élémentaire de la résonance électrique, l'auteur remarque que dans les réseaux de distribution on rencontre souvent des self-inductions et des capacités qui feraient prendre la même valeur à l'intensité du

courant, si l'on appliquait à chacune la même force électromotrice : c'est la condition nécessaire de la résonance. Considérons par exemple

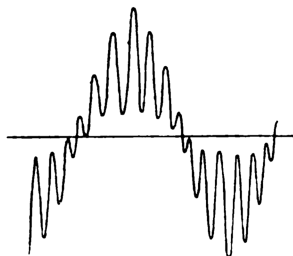


Fig. 3.

un câble diphasé ayant deux âmes isolées et dont l'armature extérieure sert de conducteur de retour commun (fig. 4 et 5). Supposons qu'à l'usine

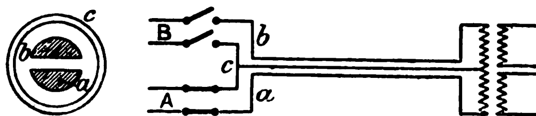


Fig. 4 et 5.

génératrice on ait ouvert le circuit de la phase B ; l'ensemble peut être représenté par la figure 5. Le courant arrive par le conducteur *a* et revient par le conducteur *c* ; il peut traverser la capacité *ac* et la self-induction *ac*, qui sont en parallèle, mais un autre circuit lui est ouvert par la capacité *ab*, puis par la capacité *bc* en parallèle avec la self-induction *bc*.

Supposons que la fréquence soit 25, la tension par phase 3 000 volts, la puissance de chacun des transformateurs placés à l'extrémité de la ligne, 150 kilowatts, et que ces appareils absorbent chacun un courant magnétisant égal à 2 p. 100 du courant total, soit 1 ampère ; les secondaires sont ouverts. La capacité du condensateur formé par l'un ou l'autre des condensateurs *a* et *b* d'une part et l'armature d'autre part sera, par exemple, 0,47 microfarad par kilomètre ; celle du condensateur formé par les conducteurs *a* et *b* ensemble d'un côté, et l'armature de l'autre, 0,56 microfarad par kilomètre. On a donc :

capacité $(a + c)$, $b = 0{,}47$ microfarad
» $(a + b)$, $c = 0{,}56$ »

Si la longueur de la ligne est de 4,55 km, la capacité totale *a*, *c* sera de 1,27 microfarad, et la capacité totale *a*, *b*, 0,847 microfarad. Si maintenant la différence de potentiel entre *b* et *c* est V_1, le courant dans le transformateur *bc* est $\frac{V_1}{3\,000} = 3{,}33 \times 10^{-4} V_1$, et dans la capacité *bc* $1{,}27 \times 25 \times 2\pi \times 10^{-6} V_1$ ou $2 \times 10^{-4} V_1$. Le courant arrivant en *b* sera donc un courant déwatté, en retard d'un quart de période sur la force électromotrice et d'intensité égale à $1{,}33 \times 10^{-4} V_1$. Mais si la différence de potentiel entre *a* et *b* est V_1, nous avons aussi à travers *ab* un courant de capacité égal à $1{,}33 \times 10^{-4} V_1$. Les conditions de la résonance se trouvent donc réalisées ici, et le potentiel du conducteur *b*, isolé du reste du circuit, s'élèvera jusqu'à la rupture de l'isolant. On n'a cité ce cas qu'à titre d'exemple ; bien d'autres combinaisons peuvent produire des effets de résonance.

Tout alternateur peut être figuré par une machine idéale engendrant une force électromotrice alternative, dépourvue de self-induction et sans réaction d'induit, et par une bobine d'induction mise en série avec elle. En parlant de la self-induction d'un alternateur, on comprendra dans ce terme la réaction d'induit.

Un alternateur triphasé relié à un câble peut donc être représenté schématiquement par la figure 6. La capacité d'un réseau triphasé, formé

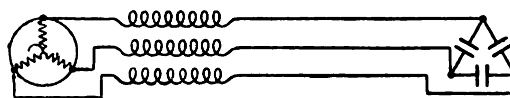


Fig. 6.

par un câble à âme triple et à armature de plomb, peut être considérée comme une combinaison de capacités (fig. 7).

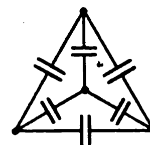


Fig. 7.

Dans la pratique, on ne rencontre pas de cas où la self-induction de l'alternateur puisse produire des effets de résonance avec la capacité du réseau, à la fréquence fondamentale de la distribution. Soit par exemple un grand réseau triphasé représenté par une capacité à trois dérivations de 5 microfarads chacune. Le courant

de déplacement dans chaque circuit, à 6 500 volts par phase et 25 périodes, serait de 2,95 ampères. Pour donner lieu à un effet de résonance dans ce réseau, l'alternateur devrait donc avoir une self-induction telle qu'à la tension normale de 6 500 volts, le courant de court-circuit fût de 2,95 ampères. Une pareille machine ne conviendrait évidemment pas à la distribution considérée, mais pourrait être employée pour faire subir aux câbles des essais d'isolement; il faudra donc prendre de grandes précautions dans ce cas.

Si la self-induction de l'alternateur de travail ne peut pas produire d'effets de résonance à la fréquence fondamentale, il ne s'ensuit pas que les harmoniques supérieures de la force électromotrice ne puissent amener de tels effets. La courbe de la figure 3 en donne un exemple; dans ce cas, la résonance se produisait à la fréquence de la 13e harmonique, quand une portion seulement du réseau était en circuit.

Si l'on connaît la longueur l de câble qui donne une résonance avec la p^e harmonique, quand un seul alternateur est en marche, à la vitesse de s tours par minute, on sait que la longueur de câble qui donnera une résonance avec la q^e harmonique, à la vitesse s_1, sera $l\left(\frac{ps}{qs_1}\right)^2$. Si l'on couple deux alternateurs en parallèle, on diminue de moitié l'inductance du circuit, et, par suite, la résonance avec la même harmonique ne se produira que si la longueur de câble en circuit est deux fois plus grande.

En raison de ce fait seul, il ne se produira généralement pas d'effets de résonance importants à pleine charge; on n'aura guère à les craindre qu'aux moments de faible charge, quand le réseau est alimenté par un seul alternateur, qui peut être de dimensions relativement faibles.

De légers effets de résonance pourraient aussi se produire dans les réseaux de câbles souterrains alimentés par des dynamos à courant continu; la force électromotrice engendrée par ces machines est en effet toujours affectée d'une ondulation d'ordre élevé, ondulation qui peut même être assez prononcée dans le cas des commutatrices.

Dans une autre série d'expériences, l'auteur a étudié les phénomènes non périodiques qui se produisent dans les circuits électriques, c'est-à-dire, par exemple, la propagation d'un courant permanent dans un circuit inductif, ou les oscillations du courant de charge qui prend naissance quand on introduit un câble dans un circuit à courant continu ou alternatif [1]. L'auteur reproduit une série de courbes représentant l'allure de ces phénomènes.

Dans la dernière partie de sa communication, l'auteur traite des effets dûs à la distribution de la capacité dans les câbles. Un câble long de plusieurs kilomètres ne peut pas être regardé, au point de vue électrique, comme un condensateur unique ou comme une combinaison d'autant de condensateurs qu'il contient d'âmes isolées. Il faut un temps appréciable pour que la charge se répande dans toute la longueur du câble. Il peut arriver qu'une des harmoniques de la force électromotrice appliquée se trouve en résonance avec l'espace de temps nécessaire à une pulsation pour parcourir deux fois la longueur du câble. L'onde « réfléchie » se trouve alors en phase avec cette harmonique et il peut se produire ainsi de très grandes élévations de potentiel. En étudiant ce cas pour un câble à âme triple, auquel on applique une force électromotrice de 25 périodes, présentant une harmonique du 13e ordre, l'auteur trouve que la longueur de câble qui donnerait lieu à un effet de résonance dangereux est bien supérieure au développement habituel des transports de force par canalisations souterraines. Soit par exemple une distribution de fréquence 50, où les alternateurs donnent une onde de force électromotrice présentant une harmonique du 13e ordre (fréquence 650) ; si la longueur du câble est de 40 km, cette harmonique sera amplifiée 127 fois par la résonance à l'extrémité du câble.

---

[1] Pour étudier ces phénomènes au moyen de l'oscillographe, il était nécessaire de les rendre périodiques et de les synchroniser avec le moteur de l'appareil. L'auteur construisit dans ce but un contact tournant, fixé à l'arbre d'un moteur de tramway muni de deux bagues. Ce moteur était alimenté par du courant continu ; le moteur de l'oscillographe était relié aux bagues et les bandes vibrantes au contact tournant. Celui-ci se compose d'une bague d'une seule pièce et d'une autre divisée en 16 parties égales. Le moteur ayant quatre pôles, on a formé avec ces 16 divisions quatre groupes de quatre chacun. Dans une certaine position A, le courant de charge du circuit comprenant une capacité et une self-induction passe à travers la bande S de l'oscillographe ; dans une autre position B, le circuit se décharge à travers S. Ces phénomènes, se reproduisant synchroniquement avec les vibrations du miroir, donnent lieu à des courbes fixes, qu'on peut photographier.

L'auteur fait allusion, en terminant, aux troubles qui se produisent dans les circuits quand le potentiel, en un point quelconque, subit un changement brusque. Ce cas, qui a déjà fait l'objet d'une communication de M. Percy H. Thomas à l' « American Institute », mériterait d'être étudié expérimentalement. P. L.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 3 juillet 1903.

M. Curie expose et démontre par l'expérience ***quelques propriétés du radium***. — 1° Dans un récent voyage en Angleterre, M. Curie a reçu des mains de M. Crookes un appareil qui met en évidence d'une façon très curieuse la phosphorescence induite par le radium. A quelques millimètres d'un carton couvert de sulfure de zinc phosphorescent, une petite quantité de chlorure de radium est supportée sur la pointe d'une aiguille. En regardant le carton à la loupe, on voit ses divers points devenir lumineux, comme si une pluie d'étoiles jaillissait entre le radium et le sulfure. Une hypothèse très séduisante est celle qui attribuerait chaque éclair à la chute d'un atome de radium. On aurait ici, pour la première fois, une expérience mettant en évidence les atomes séparés. Les rayons qui produisent ce phénomène semblent être les rayons α très pénétrants.

2° Le radium émet constamment de la chaleur. M. Curie le montre au moyen de deux appareils identiques qui sont des ampoules construites comme celles dans lesquelles M. d'Arsonval conserve l'air liquide, mais plus petites; chaque ampoule contient un thermomètre et du coton. Dans l'une d'elles, on a ajouté 0,7 gr de chlorure de baryum presque pur. La différence de température qui s'établit spontanément entre les deux thermomètres est considérable ; l'un d'eux marque 22°,4 et l'autre 25°,2.

M. Curie a mis ce dégagement de chaleur en évidence en vaporisant du chlorure de méthyle ; dans son voyage en Angleterre, il a, au laboratoire de M. Dewar, opéré sur l'hydrogène liquide; il a pu obtenir une production de 75 cm³ de gaz par minute.

3° M. Rutherford a montré que l'émanation du radium se condense à la température de l'air liquide. M. Curie répète l'expérience. Le sel de radium est contenu dans une ampoule communiquant avec deux autres ampoules en série A et B isolées par des robinets. Le vide est fait dans l'appareil et les parois de A et B sont badigeonnées de sulfure de zinc. Le robinet placé entre A et B étant ouvert, on ouvre celui qui laisse passer l'émanation; la phosphorescence se produit à peu près avec la même intensité en A et B. On supprime la communication avec le sel de radium et on plonge B dans l'air liquide. Au bout d'une heure environ, M. Curie ferme le robinet entre A et B et enlève l'air liquide. Tout d'abord, la phosphorescence de B ne diffère guère de celle de A, mais cela tient à ce que l'abaissement de température réduit la phosphorescence de B; dès que B se réchauffe, on voit l'éclat augmenter et enfin il se produit une lumière verte intense révélant la condensation de l'émanation du radium.

C. R.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 29 juin 1903.

Recherches sur les piles à un liquide et à deux liquides. Vérifications, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1601-1608.

« Les éléments de piles électriques peuvent, dit l'auteur, être constitués par la réaction d'un ou plusieurs liquides, exercée entre eux et sur les deux électrodes de métaux identiques, ou différents, qui constituent les pôles de ces éléments. Entre les forces électromotrices des divers éléments renfermant des liquides ou des électrodes, soit divers, soit identiques, il existe certaines relations générales, prévues d'après les lois connues de l'électricité ; ou bien encore d'après certaines hypothèses plus ou moins certaines, relations vérifiables par l'expérimentation. Réciproquement, cette dernière peut servir à contrôler l'exactitude des mesures de potentiel et de force électromotrice, exécutées avec de semblables éléments de pile. Les observations contenues dans la présente note peuvent être interprétées à ce double point de vue. Elles ont porté sur des éléments de pile à un liquide et à deux liquides, avec électrodes métalliques tantôt identiques aux deux pôles, tantôt dissemblables.

» Il s'agit d'ailleurs de mesures exécutées dès que l'équilibre, attribuable à l'imbibition, et

plus généralement à un régime initial régulier, a été établi ; avant qu'aucune perturbation notable, attribuable soit à la polarisation, soit à l'altération des métaux, soit au mélange progressif des liquides au travers de la paroi des vases poreux, ait eu le temps de se manifester. »

I. — Dans la première partie de son mémoire, l'auteur considère les éléments formés d'un seul liquide électrolytique, de deux électrodes différentes et de deux pôles constitués par le métal d'une des électrodes.

Si l'on prend trois de ces éléments ayant le même électrolyte et dont les électrodes sont respectivement M et M', M' et M'', M et M'', on aura pour les forces électromotrices de ces éléments

$$E_1 = M|A + A|M' + M'|M$$
$$E_2 = M'|A + A|M'' + M''|M'$$
$$E_3 = M|A + A|M'' + M''|M,$$

et l'on voit que l'on a, en tenant compte de la loi de Volta sur les contacts successifs,

$$E_1 + E_2 = E_3.$$

M. Berthelot a vérifié qu'il en était bien ainsi pour divers éléments dont les électrodes M, M', M'' étaient formées de zinc, de cuivre et de platine et dont l'électrolyte était une dissolution des acides, sels et mélanges de sels suivants : H^2SO^4, H^3BO^3, KCl, $ZnCl^2$ (10 litres), $ZnCl^2$ (20 litres), $2\,KCl + Na^2SO^4$, $2\,NaCl + K^2SO^4$, $2\,NaCl + ZnSO^4$.

II. — Dans le cas des éléments à deux électrolytes A et B, on peut, avec trois électrodes différentes, former neuf éléments distincts : trois dont les deux électrodes sont identiques

MABM, M'ABM', M''ABM'',

et six à électrodes différentes

MABM', M'ABM'', M''ABM,
MBAM', M'BAM'', M''BAM.

Or il est facile de voir que

f. é. m. MABM' + f. é. m. M'ABM = f. é. m. MABM + f. é. m. M'ABM',

de sorte que, avec les deux relations analogues à celles-ci, on a trois relations entre les forces électromotrices des neuf éléments.

De nombreuses mesures ont montré qu'il en est bien ainsi ; M. Berthelot en donne quelques exemples dans son mémoire.

Sur la théorie des aciers au nickel, par **Ch.-Ed. Guillaume**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1638-1639.

« Les aciers au nickel possèdent des propriétés irréversibles ou réversibles, c'est-à-dire douées ou non d'hystérèse thermique, suivant leur teneur en fer et en nickel ; cette particularité, qui semble à première vue constituer un caractère fondamental des deux catégories d'alliages, laisse cependant apparaître, entre leurs propriétés, une évidente analogie, qui ressort nettement de la comparaison suivante :

» Les phénomènes simultanés qui accompagnent le refroidissement graduel sont, dans les aciers au nickel

Irréversibles :

L'apparition du magnétisme avec forte hystérèse thermique ;
L'augmentation irréversible du volume, ou dilatation réelle de l'alliage avec forte hystérèse ;
La diminution irréversible du module d'élasticité, contraire au phénomène normal ;
Un dégagement irréversible de chaleur.

Réversibles :

L'apparition du magnétisme comme fonction définie de la température ;
La déviation positive de la courbe normale de contraction, c'est-à-dire une dilatation virtuelle de l'alliage ;
La diminution réversible du module d'élasticité, contraire au phénomène normal ;
Pas de phénomènes thermiques irréversibles, phénomènes réversibles probables.

» Dans les deux classes d'alliages, les phénomènes se distinguent donc uniquement par l'hystérèse thermique. On est dès lors fondé à les envisager comme étant de même nature, et à attribuer à l'hystérèse thermique un caractère secondaire, comme l'hystérèse de champ est un caractère accessoire des phénomènes magnétique dans le fer et les aciers. Or, puisque les phénomènes observés sont de même nature intime, on est tout naturellement conduit à les rattacher à la même cause.

» On sait, d'autre part : 1° que le fer éprouve, vers 890°, une transformation caractérisée au refroidissement par un brusque dégagement de chaleur et une subite dilatation linéaire de $\frac{3}{1\,000}$ (passage de l'état γ à l'état β) ; une deuxième transformation, faisant apparaître le ferro-ma-

gnétisme, se produit vers 755° (passage de β à α) (H. Le Chatelier, Osmond, P. Curie, etc.) ; 2° que des additions progressives de nickel au fer abaissent les températures des deux transformations avec une vitesse inégale, et les amènent à se confondre, au refroidissement, pour 4 p. 100 de nickel et, au réchauffement, pour 8 p. 100 de nickel environ (Osmond) ; 3° que, au-dessus de la transformation supérieure, le fer possède une dilatibilité linéaire égale à $\frac{20}{1\,000\,000}$ environ par degré (H. Le Chatelier, Charpy et Grenet), alors qu'aux températures ordinaires sa dilatabilité est de $\frac{11}{1\,000\,000}$ seulement.

» Le nickel, de son côté, ne présente qu'une transformation, celle qui fait apparaître ou disparaître le magnétisme à 340°, sans variation appréciable du volume.

» En rapprochant ces faits de l'anomalie de dilatation des aciers-nickels, on est conduit d'abord à admettre que, dans les alliages irréversibles, tout se passe comme si, par le fait de la présence du nickel, le fer pouvait être amené jusqu'au seuil de la transformation faisant apparaître le magnétisme, en conservant toutes les propriétés de l'état γ, l'état α étant alors atteint par une transformation en faux équilibre.

» Les relations quantitatives que l'idée de cette transformation permet de prévoir sont conservées ; en effet, si l'on extrapole jusqu'à 0° la courbe de dilatation du fer à l'état γ, on trouve qu'elle passe à 8 mm par mètre au-dessous du point réellement observé. Or, d'une part, la dilatabilité linéaire d'un alliage de fer avec 25 p. 100 de nickel, non magnétique aux températures ordinaires, est égale à $\frac{18}{1\,000\,000}$ par degré ; d'autre part, la transformation à température basse allonge de 6 mm une barre de 1 m, sa dilatabilité étant alors de $\frac{10}{1\,000\,000}$ à $\frac{11}{1\,000\,000}$.

» Le changement de longueur dans la transformation satisfait donc à la loi des mélanges, le fer, dans l'alliage en question, étant dilué de $\frac{1}{4}$. La dilatation, qui satisfait à la même loi avant la transformation, semble légèrement en défaut après la transformation, parce qu'elle n'était pas complète dans les échantillons étudiés, une très faible partie du fer étant encore susceptible d'éprouver la transformation réversible ; mais la dilatation devient normale et répond absolument à la loi des mélanges pour une plus forte teneur en fer, relevant la température du début de la transformation, qui est alors complète aux températures ordinaires.

» Les analogies établies plus haut suffiraient déjà pour permettre d'affirmer que les anomalies des alliages réversibles sont dues également aux transformations du fer, dont l'état actuel, dans l'alliage, est une fonction bien définie de la température, au petit résidu près révélé par les déformations passagères des aciers-nickels, bien distinctes, dans leur nature comme dans leur cause, des changements observés dans les métaux soumis à une déformation mécanique préalable, ainsi que je l'ai antérieurement démontré.

» Mais on peut trouver d'autres preuves de l'identité de cause des anomalies dans les deux catégories d'alliages.

» J'ai décrit récemment l'allure de la dilatation d'une barre contenant 30,4 p. 100 de nickel, susceptible de subir d'abord une partie de la transformation sous la forme réversible, puis éprouvant la transformation irréversible à une température très basse. Par cette dernière, la dilatation de la barre se trouvait relevée ; le fer, définitivement transformé, n'était plus susceptible alors d'éprouver les changements réversibles abaissant la dilatation de l'alliage.

» On démontre facilement enfin que, dans les alliages réversibles, les relations quantitatives sont conservées comme dans les irréversibles ; il suffit pour cela de prolonger par-dessus la région des anomalies les courbes de dilatation établies en dehors de cette région et de mesurer leur distance verticale. Au degré de certitude des expériences faites jusqu'ici, cette distance correspond à la variation de volume du fer contenu dans l'alliage, dans sa transformation de l'état γ à l'état α et inversement.

» Nous pouvons donc admettre que les alliages réversibles d'acier au nickel sont constitués par des solutions réciproques du nickel avec le fer, tendant à se mettre dans l'état d'équilibre défini par des proportions de fer α et γ correspondant à chaque température. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXVI Samedi 8 Août 1903. 10e Année. — N° 32

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES GAZOGÈNES A GAZ PAUVRE

GAZOGÈNE A ASPIRATION

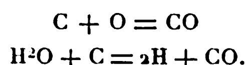
On peut classer les gazogènes en deux catégories : 1° gazogène à insufflation pour les forces motrices importantes de 100 à 500 chevaux et au delà : ce système nécessite l'emploi d'un gazomètre; 2° gazogène à aspiration pour les petites et moyennes forces motrices de 10 à 80 chevaux. Ce système permet de supprimer l'emploi du gazomètre.

Nous étudierons aujourd'hui cette seconde catégorie qui semble donner de belles promesses de développement, car ces appareils permettent de produire la petite force motrice à un prix défiant ceux obtenus avec la vapeur, à conditions égales.

Afin de pouvoir préciser, nous décrirons un type bien étudié et qui a reçu la consécration de la pratique : c'est le gazogène par aspiration, système Pierson.

Principe général. — Dans les gazogènes de cette catégorie, la production du gaz est déterminé par l'aspiration du moteur, de sorte que le gaz pauvre se fabrique au fur et à mesure de la consommation.

A chaque aspiration du moteur correspond l'introduction d'air et de vapeur dans le foyer du gazogène. La combinaison et la décomposition suivante se forment :



$$C + O = CO$$
$$H^2O + C = 2H + CO.$$

Ce gaz, mélangé dans le moteur avec une proportion d'air déterminée, s'enflamme par les moyens connus dans le moteur ordinaire et constitue la force motrice.

Description du gazogène. — Tout gazogène par aspiration se compose des organes suivants : une chaudière A formant foyer et une cuve B, garnie de pièces réfractaires qui contient le combustible reposant sur une pièce D ouverte à sa partie inférieure (fig. 1).

La pièce D est boulonnée au foyer A pour en permettre le démontage rapide.

La cuve B est fermée en son sommet par un couvercle R à grande ouverture ; c'est par là qu'est introduit en marche le combustible au moyen d'une trémie F, fermée elle-même par un tampon étanche.

La chaudière A, formant foyer, comprend deux compartiments superposés et reliés par un conduit spécial.

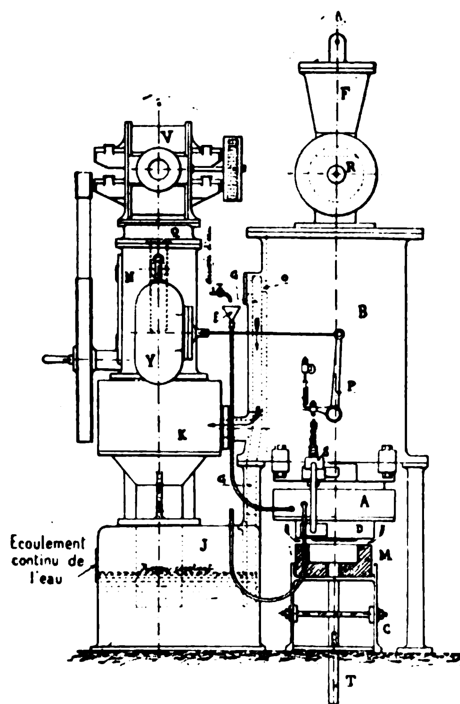


Fig. 1. — Coupe schématique du gazogène par aspiration, système Pierson.

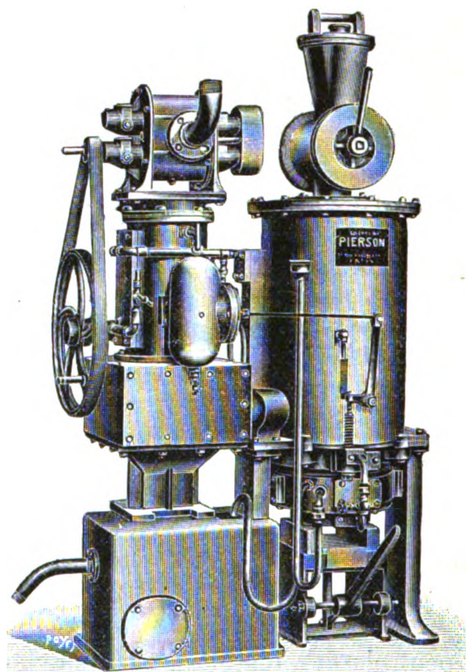


Fig. 2. — Vue d'ensemble du gazogène par aspiration, système Pierson.

L'eau arrive dans la chambre inférieure par un tuyau d'amenée F ; le tuyau G sert de décharge pour l'eau en excès : le niveau est donc toujours constant dans le compartiment inférieur.

La vapeur produite passe dans le compartiment supérieur où elle se sèche, passe par la soupape S et est conduite par un tuyau en D, où elle est surchauffée.

La vapeur est aspirée ensuite en même temps que l'air sur le foyer, par l'ouverture libre.

Il convient de remarquer que ce *gazogène n'a pas de grille* : le combustible repose sur la pièce D et sur la pièce en terre réfractaire M, soutenue par une pièce en fonte C.

Le gaz sort du gazogène par l'orifice O, descend par le conduit G dans l'eau du réservoir J : les poussières entraînées se déposent et le gaz remonte par un conduit parallèle à G et entre par une tubulure dans le laveur K.

Le laveur K est composé d'une boîte en fonte divisée en six compartiments dans chacun desquels se trouve un conduit par lequel le gaz pénètre. Chaque conduit constitue un petit réservoir alimenté d'eau d'une façon constante.

L'eau tombe en nappe devant les orifices des conduites de gaz et se mélange avec lui. Le mélange vient frapper par la vitesse acquise, les plaques de fermeture du laveur.

L'eau et les poussières entraînées sont séparées du gaz par le choc : ces résidus tombent dans un réservoir de décharge J. Le gaz, refroidi et exempt de matière étrangère, sort du laveur K et pénètre dans le sécheur-séparateur N. Il passe ensuite en Q, descend par un tuyau central, se sépare de l'eau entraînée mécaniquement, remonte en N où est branchée la conduite d'aspiration du moteur.

Au-dessus de la calotte Q, est placé un ventilateur V mu à la main qui sert à l'allumage du combustible et lui permet de produire le gaz nécessaire à la mise en marche qui dure quelques minutes seulement.

Le point délicat de la marche du gazogène par aspiration est de faire varier l'introduction de la vapeur, suivant le nombre des cylindrées du moteur. Quand le moteur marche à vide, la vapeur doit être supprimée, car alors le feu s'éteindrait après quelque minutes. A pleine charge, il faut le maximum de vapeur, pour combattre l'élévation excessive de la température du foyer qui arriverait à détruire rapidement la garniture réfractaire qui coûte assez cher à remplacer.

Dans le gazogène Pierson, le volume d'air aspiré est constant, il suffit de régler l'arrivée de la vapeur. Ce réglage constitue un perfectionnement très notable : il est obtenu de la façon suivante.

Le séparateur N porte une tubulure qui le met en communication avec un récipient Y.

La tubulure porte une soupape qui s'ouvre sous l'action de l'aspiration et se ferme par un ressort de rappel.

Sur le côté du récipient Y se trouve une membrane flexible en cuir Z, actionnant, par une petite bielle le levier coudé P, et la soupape de vapeur S : deux ressorts tendent à tenir fermée cette soupape.

Un petit tuyau relie le sommet du récipient Y au séparateur N ; un robinet intercalé dans ce tuyau permet de régler sa section. La figure 2 donne la vue d'ensemble du gazogène Pierson.

Fonctionnement du réglage de la vapeur. — Au moment de l'aspiration, il se produit une dépression dans le séparateur N, la soupape placée sur la tubulure de jonction s'ouvre et la même dépression s'établit dans le récipient Y. La membrane en cuir Z est attirée vers l'intérieur du récipient Y, actionne le levier P, ouvre la soupape S et permet à la vapeur de sortir de la chaudière A. Cette vapeur passe dans la pièce D et est aspirée en même temps que l'air du foyer.

C'est donc le degré d'ouverture de la soupape S *qui introduira plus ou moins de vapeur et cela proportionnellement à l'importance du vide fait en* Y.

En pratique, quand le moteur sera à pleine charge, les aspirations se succèdent sans discontinuer et la membrane flexible, attirée constamment vers Y, ouvre en grand la soupape S.

Si le moteur est déchargé, le contraire se produira. Ce point si capital du réglage de la vapeur est donc résolu pratiquement par cet artifice.

Suppression de la grille. — Comme nous le disions plus haut, la suppression de la grille est une nouveauté, car avec une grille, le décrassement au ringard bouleverse le combustible et peut briser les pièces en terre réfractaire, d'où résultent des frais d'entretien élevés.

Pour le gazogène Pierson, la difficulté est tournée de la façon suivante :

Une tige de fer T, à mouvement vertical, est actionnée par un levier oscillant sur un axe qui est fixé sur la pièce de fonte C, servant de support à la sole réfractaire M. Il suffit

de donner en marche quelques coups de levier, la tige T pénètre dans le foyer et fait tomber les cendres et les scories en débouchant l'ouverture du gazogène.

Remarquons que la pièce T est garantie des coups de feu par la masse de la sole réfractaire M.

On a ainsi toujours un feu clair et des passages libres : ce qui est de première importance pour la marche régulière et continue.

Nous signalons ce point comme un perfectionnement des plus importants.

Charbon employé dans le gazogène. — Il y a intérêt à employer des charbons bon marché de façon à obtenir le cheval-heure au meilleur prix. Les fines de charbon maigre, type Anzin, conviennent parfaitement, de même les anthracites. Disons que l'emploi de ces menues à l'alimentation des gazogènes en général est attentivement suivie par les compagnies de charbonnage, car elles y voient un débouché avantageux pour leur fines, qui sont restées longtemps sans emploi et qui arrivent à encombrer le carreau de la mine. En effet la houille grasse est plus spécialement employée dans les chaudières et les autres appareils industriels, il importait de trouver l'emploi des charbons plus maigres : leur application aux gazogènes assure une consommation régulière qui ne fera qu'augmenter avec les années.

Essai de consommation. — Pour donner un aperçu de la consommation de combustible, dans un gazogène, nous prendrons un essai officiel qui a été fait par M. Aimé Witz aux tramways de Cassel, près de Dunkerque (Nord).

Le combustible employé constamment par cette usine est de la braisette Lagrange d'Anzin, criblée à 30/50. Elle ne donne pas plus de 10 p. 100 de cendres et contient 1 p. 100 d'humidité ; le poids d'un hectolitre est de 75,5 kg.

L'essai a duré six heures et l'on a consumé 146,5 kg de braisettes (humidité déduite), 57 kg de menues sous la chaudière, soit au total 202 kg, ce qui donne $\frac{202}{6} = 33,6$ kg par heure.

Les deux moteurs ont donné :

	Nombre de tours.	Nombre d'admissions.
Moteur A	165,82	63,81 sur 81,29
» B	166,42	63,25 sur 83,21

Il s'est donc produit en moyenne 65,73 admissions sur 83,06, soit 79 p. 100.

La pression moyenne déduite des diagrammes était :

Moteur A	5,98 kg : cm²
» B	5,51 kg : cm²

Il en résulte une puissance indiquée de :

Pour le moteur A	32,40 chevaux indiqués
» B	27,68 »

Soit au total 60,08 chevaux indiqués pour les deux moteurs.

Le frottement et les résistances passives absorbaient $2 \times 4,56 = 9,12$ chevaux.

Il restait disponible 50,95 chevaux.

Le cheval-heure effectif ressort avec une consommation de $\frac{33,6}{50,96} = 659$ grammes sans déduction des cendres ni escarbilles.

Si l'on cherche la consommation par kilowatt-heure, on avait au tableau :

Ampères moyens	= 64,54
Volts moyens	= 484,7
Kilowatts moyens	= 31,282

De sorte que la consommation par kilowatt-heure est de $\frac{33,6}{31,28} = 1\,073$ grammes.

La garantie donnée par les constructeurs était de 800 grammes par cheval-heure effectif ; on voit que cette garantie a été largement réalisée, même si, pour tenir compte de certains aléas, l'on augmente celle trouvée de 659 grammes, de 10 p. 100, ce qui donnerait un peu plus de 700 grammes.

Essai en service d'exploitation. — M. Aimé Witz a fait cet essai en faisant descendre un fourgon automoteur chargé de 2 500 kilogr de poids mort.

Les données relatives au voyage aller et retour ainsi que celles se rapportant à une voiture à voyageurs (aller et retour), ont été (fig. 3) :

	ASCENSION DU FOURGON Courbe I.	ASCENSION D'UNE VOITURE DE VOYAGEURS Courbe II.
Durée	20'30″ = 1 230 secondes.	15'30″ = 830 secondes.
Moteurs A nombre de tours : minute	167,10 — 42 admissions.	170 43,1 admissions.
Moteurs B »	105 — 41,4 »	169,67 41,1 »
Puissance totale indiquée en chevaux	42,06	41,34
Intensité maxima des courants en ampères	110	75
Tension correspondante en volts	475	495
Puissance électrique maxima en kilowatts	52,25	37,35
Ampères moyens »	49,43	34,20
Volts » »	517	522
Travail électrique total en kilowatt-heures	8,73	5,06

	DESCENTE DU FOURGON Courbe III.	DESCENTE D'UNE VOITURE A VOYAGEURS Courbe IV.
Durée	12'10″ = 730 secondes.	12'30″ = 740 secondes.
Moteurs A nombre de tours	167,2 — 41,1 admissions.	161,5 42,6 admissions.
Moteurs B »	167 — 37,1 »	161,3 38,6 »
Puissance totale indiquée en chevaux	38,20	39,60
Intensité maxima du courant en ampères	45	35
Tension correspondante en volts	525	545
Puissance électrique maxima en kilowatts	23,62	19,07
Ampères moyens	9,38 } watts : 5 084	5,33 } watts : 2 970
Volts moyens	542 }	557 }
Travail électrique total en kilowatt-heures	1,19	0,59

Ces essais, répétés par la Compagnie, ont donné des chiffres absolument comparables.

Les nombreux diagrammes relevés au cours des divers essais indiquent une constance de qualité du gaz pauvre qui est remarquable.

Les pressions moyennes maxima et minima des 4 essais précédents l'indiquent surabondamment.

PRESSIONS	ESSAI N° 1	ESSAI N° 2	ESSAI N° 3	ESSAI N° 4
Pression moyenne en kg : cm²	6,38	6,17	6,16	6,15
» maxima en kg : cm²	6,52	6,36	6,21	6,24
» minima en kg : cm²	5,985	5,97	6,10	6,03

Les courbes ci-dessous donnent des diagrammes. Pour une compression égale à 6,5 kg : cm² la pression explosive est de 24,5 kg : cm² (fig. 4 et 4 *bis*).

Le gaz pauvre fourni par le gazogène gardait un pouvoir moyen constant de 1 243 calories par mètre cube à 0° et 760 mm de pression.

Ces résultats sont d'autant plus intéressants que le travail était essentiellement variable par suite du profil de la ligne de Cassel-ville à Cassel qui est très accidenté, puisque entre les deux points extrêmes il y a une différence d'altitude de 111,55 m, pour un parcours de 3 365 m. On y trouve des rampes de 62 mm par mètre.

Conclusion. — Comme on l'a vu par la description ci-dessus, les gazogènes par aspiration sont d'une construction robuste. Leur conduite peut être confiée à un manœuvre : c'est un point important pour l'emploi de petite force motrice, car l'on comprend qu'un industriel qui utilise de 10 à 80 chevaux n'a pas toujours un bon mécanicien sous la main. C'est un avantage que l'emploi des gazogènes présente sur les chaudières et machines à vapeur qui nécessitent un personnel expérimenté et par conséquent cher.

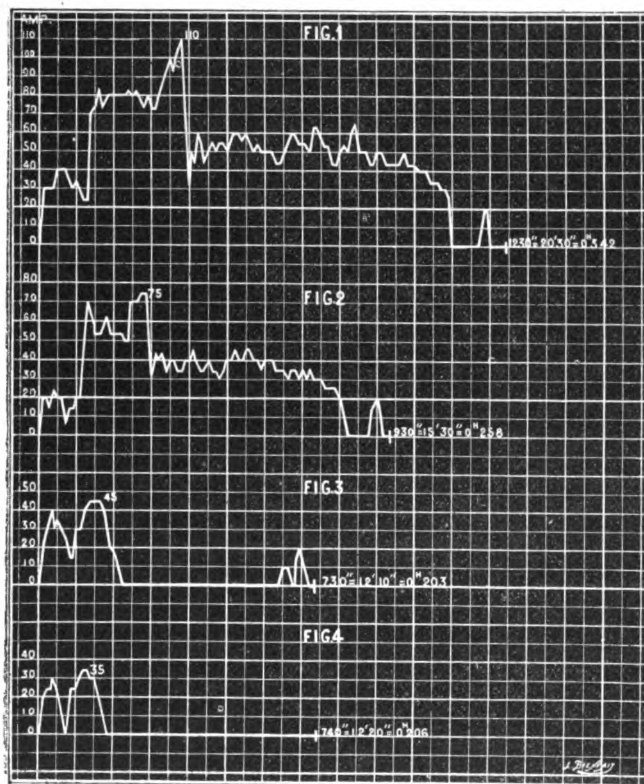


Fig. 3. — Courbes des essais de consommation. (Tramways de Cassel.)

L'entretien de ces appareils est presque nul, tel n'est pas le cas des chaudières de puissance réduite généralement confiées par économie mal entendue à des ouvriers inexpérimentés qui laissent brûler les tubes.

De plus, le rendement des gazogènes est excellent, comme les chiffres de consommation garantie de 700 gr par cheval-heure le démontrent. Le rendement des chaudières de faible puissance est toujours assez mauvais, surtout si l'on tient compte du charbon brûlé pendant l'allumage, qui demande de 30 à 60 minutes et qui est toujours perdu, quel que soit le nombre d'heures de marche. Pour les gazogènes, l'allumage demande 10 minutes et dépense au maximum 500 gr de charbon. Dans les petites machines à vapeur de 20 à 50 chevaux, la consommation est en moyenne de 2 à 4 kg de charbon par cheval effectif et elle dépend essentiellement de l'habileté du chauffeur. Le salaire de cet ouvrier qui, dans ce cas, ne peut faire autre chose, est souvent, dans les petites installations, supérieur à la dépense de charbon.

Les gazogènes ne présentent aucun danger d'explosion, car il n'y a pas accumulation de gaz, puisqu'il est aspiré : il n'y a donc aucune pression et les fuites ne peuvent se produire. Si par accident fortuit, une fuite se produisait, elle provoquerait une aspiration d'air anormale dans l'appareil et le moteur ne trouvant pas plus de mélange détonant s'arrêterait.

Ces appareils présentent si peu de danger qu'ils ne sont soumis à aucun des règlements de police : ils peuvent s'installer partout, même dans une cave de lieu habité. En effet il ne produit aucune fumée ni odeur incommodante. C'est là une qualité remarquable, car ces appareils peuvent être employés dans tous les endroits où les réclamations des voisins sont à craindre.

La faible quantité d'eau nécessaire pour alimenter les gazogènes permet de les ins-

taller là où on ne dispose pas de beaucoup d'eau. C'était du reste le cas des tramways de la ville de Cassel, qui avaient demandé aux soumissionnaires qu'on produisît de la force motrice sans eau, car il n'y en avait presque pas. Il y a là un côté pratique de l'application des gazogènes qu'il importe de remarquer.

Enfin, les gazogènes par aspiration permettent d'employer des combustibles de qualité et de prix inférieurs aux charbons gras et demi gras indispensables à l'alimentation des chaudières. On peut facilement obtenir des charbonnages dans de bonnes conditions de

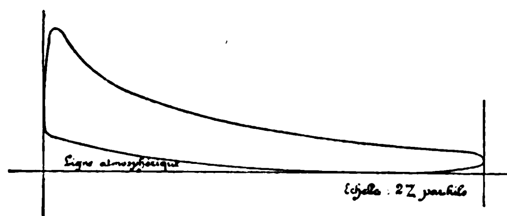


Fig. 4. — Diagramme pris pendant les essais de consommation.

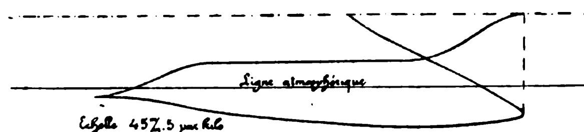


Fig. 4 *bis*. — Diagramme montrant l'aspiration et l'échappement.

ces menues qui ne sont pas sujettes à la variation des cours. La consommation annuelle pour un gazogène alimentant un moteur de 20 à 25 chevaux sera de 20 à 22 tonnes par an et pour une marche normale.

En résumé, la facilité de conduite des gazogènes, leur entretien tout à fait réduit, l'emploi qu'ils permettent des charbons bon marché sont des qualités telles que nous prévoyons un développement considérable de ces appareils pour leur application à la production de petite et moyenne force motrice. Il ne serait pas téméraire de dire qu'il remplaceront, dans un avenir peu éloigné, les petites installations de force motrice obtenues par chaudières et machine à vapeur.

Paul Dupuy.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS EN AMÉRIQUE [1]

Le système décrit par M. Farnsworth (soit le 3e), en un mémoire de 10 pages, est je crois, d'après d'autres renseignements que je possède, construit par la « Consolidated Railway Electric Lighthing Equipment Cy ». Ce système, qui est un mélange de dispositifs empruntés, à Moskowitz dont le système, datant de 1896, était tout d'abord exploité par la « Electric Car Lighting Cy » et de quelques autres inventeurs dont la Consolidated Cy a acquis les brevets, est je crois le même qui est construit en Europe par la maison Vickers Maxim de Sheffield et appliqué sur quelques voitures anglaises. Dans ce système, la commande de la dynamo se fait par courroie. D'après les renseignements donnés par M. Campbell, au cours de la discussion à Pittsburgh, on a d'abord fait usage d'une courroie lisse portant sur poulies plates, telle que celle représentée sur la figure 4; mais ce type de courroie ayant donné lieu à des incidents de glissement, a été remplacé par un autre consistant en une bande plate de cuir sous laquelle sont fixées des petites pièces saillantes triangulaires; cette poulie, qui offre ainsi une section en V et tourne dans des poulies à gorge de même forme, donne, paraît-il, maintenant de bons résultats.

(1) Voir précédent numéro, p. 169.

Le système décrit par Farnsworth fonctionne suivant le schéma de la figure 3. La batterie A, couplée en permanence en parallèle avec les lampes L, les alimente seule pendant les arrêts (trait pointillé) lorsque le disjoncteur *c* est ouvert; en même temps la résistance d'absorption R est mise en court-circuit. Lorsque le train atteint une certaine vitesse, le conjoncteur C se ferme et vient mettre la dynamo *d* en circuit; en même temps la première portion r_1 de la résistance R se trouve intercalée entre la batterie A et les lampes; les secondes r_2 et r_3 et troisième portions r_2 et r_3 de la résistance R se trouvent intercalées un peu plus tard, au fur et à mesure de l'accroissement de vitesse; inversement, un peu avant la disjonction, les résistances r_3, r_2 et r_1 sont mises l'une après l'autre en court-circuit, comme dans le système Auvert[1]. Le réglage de la dymano est semblable à celui employé dans le système Dick[2]; un solénoïde S en série dans le circuit principal de la dynamo D, agit sur un rhéostat qui intercale une résistance variable dans le circuit inducteur shunt *d* de la dynamo D, dont la force électromotrice varie de manière à ce que le courant total débité par la dynamo reste sensiblement constant; mais, tandis que dans le système Dick le rhéostat consiste en une cuvette à mercure dans lequel se meut un piston directement fixé au plongeur du solénoïde, dans le système américain le rhéostat est actionné par un servomoteur électrique commandé par le solénoïde. Pendant la marche de jour, le débit de la dynamo est réduit comme dans le Dick, de manière à ne charger que faiblement les accumulateurs; à cet effet une partie de l'enroulement du solénoïde *s* est mise en court-circuit par la manœuvre même d'extinction du commutateur général d'allumage de la voiture. Mais le système américain ne comporte pas de limiteur de charge, tandis qu'il y en a un dans le Dick.

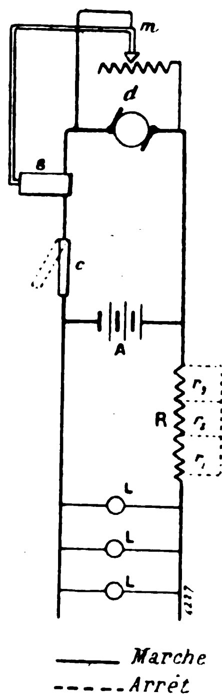


Fig. 3. — Schéma du système décrit par M. Farnsworth.

La figure 4 représente le montage de la génératrice sur une voiture. La dynamo, qui est entièrement blindée, est soutenue par deux brides fixées au châssis du bogie, et suspendue par un tourillon transversal à l'extrémité d'une tige longitudinale pouvant coulisser à son autre extrémité, dans une fourrure du châssis contre laquelle s'appuie un ressort de tension travaillant à la compression, qui maintient la courroie tendue, suivant le schéma de la figure 2. Mais, comme il a été expliqué plus haut, la disposition de poulies et de courroie lisses représentée sur cette figure n'est plus employée maintenant. La dynamo bipolaire a ses inducteurs feuilletés en acier doux, avec quelques feuilles d'acier dur pour maintenir un léger champ rémanent et éviter les changements spontanés de polarité aux démarrages, crainte peu justifiée. Les balais, en charbon, disposés dans un plan horizontal, sont enfermés, comme le reste de la machine, mais peuvent être visités facilement.

Les connexions de la dynamo avec la canalisation sont interverties suivant le sens de la marche du train, à l'aide d'un commutateur déclenché mécaniquement par une came actionnée par pignon et vis sans fin montée en bout de l'arbre de la dynamo.

La batterie travaillant avec la dynamo représente à elle seule 10 heures d'éclairage.

Le conjoncteur disjoncteur et le régulateur sont fixés sur un tableau, monté dans une armoire de la voiture et représenté sur la figure 5. Le conjoncteur disjoncteur électrique,

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 427, 20 septembre 1902.

[2] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 432, 21 septembre 1902.

qui se trouve en haut et à droite du tableau, se compose d'une armature horizontale commandant le rapprochement de deux barrettes métalliques horizontales et actionnée par un électro-aimant à deux branches, portant chacune deux bobines, l'une à fil fin en dérivation qui provoque l'enclenchement et une en série qui maintient ensuite fortement l'armature en contact.

Le rhéostat de réglage, visible au centre du tableau, est constitué par une couronne annulaire de 36 touches en laiton, reliées à 36 sections de fil et sur lesquelles frotte un levier en laiton mobile circulairement autour d'un axe portant deux roues à rochets W et W' (fig. 6) à dentures inverses. Le rhéostat est commandé par un tout petit moteur (on ne dit pas la

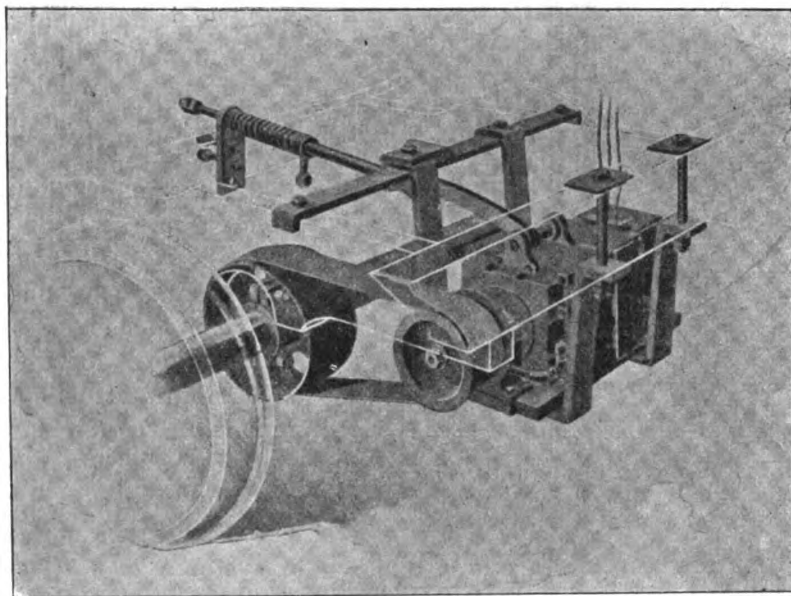


Fig. 4. — Dynamo génératrice mue par l'essieu.
(Communication de M. Farnsworth.)

puissance) enfermé dans une enveloppe sphérique et placé à droite et en bas du tableau. Il est relié en permanence en dérivation sur le circuit de la dynamo, et actionne par vis sans fin et pignon un excentrique N (fig. 6) dont l'axe T se trouve à droite et en bas du rhéostat. La tige N' de cet excentrique produit un mouvement continuel de basculement d'un levier K aux deux extrémités duquel sont articulés deux cliquets $p\,p'$, pouvant actionner les roues à rochets W ou W' et faire par conséquent tourner par saccades l'axe A du rhéostat dans un sens ou dans l'autre. Lorsque le débit de la dynamo a la valeur considérée comme normale, le levier H, solidaire du solénoïde d'asservissement et muni de deux taquets h et h' sur lesquels viennent tomber les cliquets p et p', occupe une position telle que ni l'un ni l'autre des cliquets ne peut entrer en prise avec les dents des roues à rochets W et W', c'est-à-dire que le balancier K oscille à vide. Si le débit de la dynamo augmente, le levier H s'élevant, le cliquet p peut venir en prise avec la roue W, qui fait tourner par petites saccades l'axe A et le levier du rhéostat dans le sens de l'augmentation du champ inducteur, jusqu'à ce que le courant de la dynamo étant revenu à sa valeur normale, ait produit un abaissement suffisant du levier H pour que le cliquet p échappe à la roue W. Si le débit de la dynamo diminue, le levier H s'abaisse et le cliquet p' vient en prise avec les dents de la

***

roue a'. ce qui provoque la rotation dans l'autre sens du rhéostat. Le solénoïde S du schéma de la figure 3, qui commande le régulateur, est placé en haut et à gauche du tableau ; il se compose d'une bobine à gros fil, insérée en série dans le circuit de la dynamo, et dans l'intérieur de laquelle est attirée plus ou moins une tige reliée au régulateur de la manière expliquée précédemment.

La mise en circuit successive des résistances r_1, r_2, r_3 (schéma de la fig. 3) se fait par le déplacement sur un secteur à trois touches situé (fig. 5) sur le tableau à gauche et en bas, au-dessous du solénoïde) d'un petit levier commandé, à l'aide d'un système de cames et de tringles, par l'arbre du rhéostat. M. Shepardson a soin d'indiquer que ce petit levier n'est actionné qu'au moment où la dynamo, après avoir été connectée à la batterie, commence à fournir du courant ou inversement au ralentissement, très peu de temps avant la disjonction, de sorte qu'en réalité, comme le montre d'ailleurs un graphique figurant dans le mémoire, les trois fractions de la résistance se trouvent mises en ou hors circuit presque instantanément et la division de la résistance d'absorption n'offre par suite pas d'avantage pratique. Le fait avait été constaté également avec la disposition analogue du système Auvert (1)

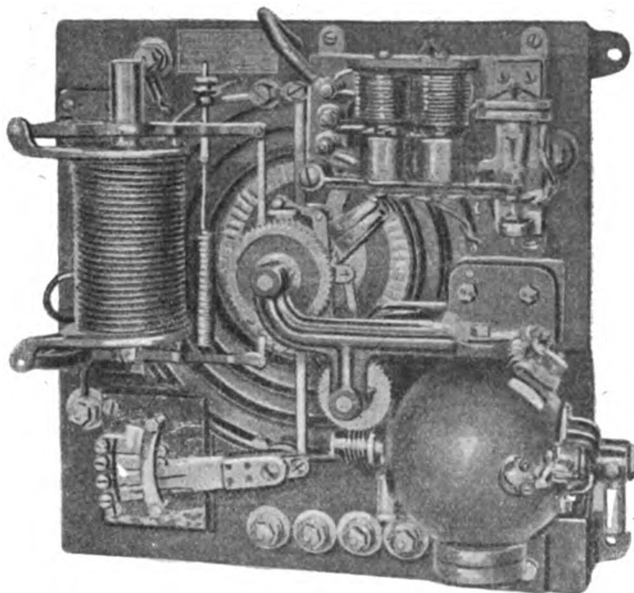


Fig. 5. — Tableau des appareils de conjonction et de réglage. (Communication de M. Farnsworth.)

L'emploi d'un servo-moteur électrique tournant continuellement rend le système de réglage compliqué. Le régulateur est aussi, il est vrai, plus robuste et moins sujet à dérangement qu'un appareil à mercure tel que celui de Dick, mais dans le système Küll où le réglage se fait également par variation du champ inducteur on est arrivé à un régulateur beaucoup moins compliqué et encore beaucoup plus robuste et plus sûr puisqu'il ne comporte pas d'organes électriques.

J'ouvrirai ici une parenthèse pour donner une description sommaire du régulateur Küll. parce qu'il est intéressant et que j'ai eu l'occasion de l'examiner en détail depuis la publication de mes premiers articles (2). Le levier l (fig. 6 *bis*) du rhéostat est commandé par le manchon d'un système à force centrifuge monté sur l'arbre de la dynamo. M. Küll a eu l'idée ingénieuse d'atteler à ce manchon deux parallélogrammes à boules, de grosseurs différentes B et b agissant en sens contraire, de sorte que le système centrifuge, au lieu d'agir suivant le carré de la vitesse, produit une action presque directement proportionnelle à la vitesse, ce qui permet une division plus grande et plus régulière du rhéostat. Le régulateur Küll maintient uniforme la force électromotrice de la dynamo et non son débit comme dans le système de M. Bliss décrit plus loin, ce qui est une bonne condition pour la charge

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 427, 20 septembre 1902.
(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 429, 20 septembre 1902.

des accumulateurs qui prennent ainsi, lorsqu'ils sont vidés, un courant assez fort allant ensuite en diminuant lorsque, après s'être un peu chargés, leur force contre-électromotrice s'élève.

M. Lyndon à New-York a reproché aux systèmes dans lesquels le régulateur est un solénoïde en série maintenant un courant constant de charge de la batterie, de faire subir un traitement peu propice aux accumulateurs qui, pour bien faire, devraient recevoir un fort courant au début de la charge et ensuite un courant de plus en plus faible. Ce reproche n'est que très peu applicable au système de M. Farnsworth, car en réalité, comme on peut le voir sur le schéma de la figure 3, l'équilibre du système est établi pour un débit *total* de la dynamo constant, ce qui équivaut presque à une force électromotrice constante; en effet la portion du courant total qui passera dans la batterie *h* ne restera pas constant, mais diminuera au fur et à mesure que les éléments se satureront, en même temps que le courant passant par les lampes augmentera.

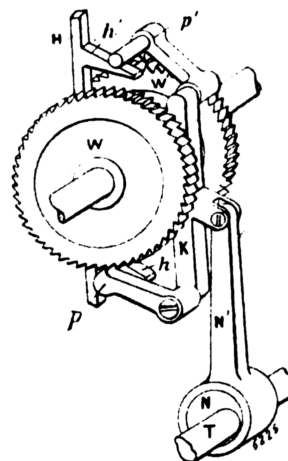


Fig. 6. — Dispositid' asservissement du rhéostat de réglage.
(Communication de M. Farnsworth.)

D'après M. Campbell, de Pittsburgh, le réglage du solénoïde régulateur est un peu délicat, mais lorsque ce réglage est fait, le système fonctionne bien, ce qui est vraisemblable. Tous les appareils paraissent en effet soigneusement construits, suivant l'usage américain. Le même ingénieur déclare aussi que la tension aux lampes reste constante, à 4 ou 5 p. 100 près, sauf au moment de l'insertion ou de la suppression des résistances qui donnent lieu à une élévation subite de lumière. Mais pour obtenir ce résultat, c'est M. Farnsworth lui-même qui l'a déclaré franchement, il est nécessaire d'ajuster le solénoïde régulateur de manière à ce que la dynamo débite un courant calculé d'après le nombre d'ampères-heure consommé. Il faut donc changer le réglage de la dynamo chaque fois que la consommation des lampes varie, c'est-à-dire non seulement lorsque la voiture passe d'un train dans un autre mais aussi, avec le même roulement, lorsque la durée d'allumage subit des variations résultant de la durée du jour; ceci constituerait des sujétions bien fortes dans le cas d'un emploi étendu de l'éclairage électrique.

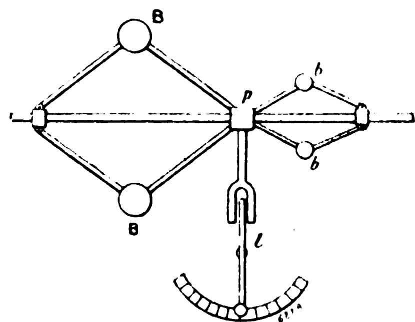


Fig. 6 *bis*. — Commande mécanique du rhéostat de Küll (Suisse).

Tous les systèmes à batterie unique, sauf celui de l'État prussien, je l'ai montré dans mon étude générale sur l'éclairage électrique des trains [1] fonctionnent d'une manière plus ou moins instable entre l'épuisement et le survoltage. On n'évite ces dangers que par des artifices plus ou moins assujettissants, tels que celui du réglage variable du débit de la dynamo. Sur les trains suisses, on est arrivé également avec le système Küll à une seule batterie, comportant un réglage *unique* de la dynamo pour les divers trains, à éviter les survoltages, ainsi que j'ai pu le constater récemment *de visu*, sans avoir non plus, m'a-t-on affirmé, d'épuisement. Mais ce résultat, facilité

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 457, 27 septembre 1902.

d'abord par l'emploi d'une batterie du type Planté représentant une très grande capacité par rapport à la durée totale d'éclairage quotidienne en stationnement des trains, qui est assez faible en Suisse, repose entièrement sur le bon fonctionnement d'un limiteur de charge qui coupe le courant de la dynamo lorsque la tension aux bornes des accumulateurs atteint 2,4 volts par élément. J'ai vu fonctionner très régulièrement cet appareil sur quelques trains que j'ai accompagnés, et l'on m'a affirmé en Suisse qu'il ne donnait lieu à aucun incident, mais il n'en reste pas moins un appareil électrique délicat qui, sur le réseau des autres pays, où il entrerait en action beaucoup plus souvent, parce que les marches des trains y sont bien différentes, aurait peut-être plus de tendance à se déranger.

Le quatrième système, avec commande par l'essieu, employé en Amérique, depuis moins longtemps je crois que le premier et le troisième, et construit par « l'American Railway electric Ligt Cy » a été décrit par M. Bliss dans un mémoire de 28 pages. Il offre beaucoup d'analogie avec celui imaginé en France par M. Auvert[1]. Le circuit de la dynamo D (fig. 7) est fermé sur la batterie A et les lampes L couplées en permanence en parallèle, lorsque le train a acquis une certaine vitesse, par la manœuvre d'un conjoncteur disjoncteur C. Comme dans le système Auvert, on maintient sensiblement constante la force électromotrice de la dynamo, malgré les variations étendues de vitesse, en introduisant dans le champ inducteur en dérivation d une force contre-électromotrice g_1. Dans le système Auvert, cette action est renforcée par l'introduction dans le circuit de débit total de la dynamo, c'est-à-dire entre la dynamo D et la batterie A d'une force contre-électromotrice ; dans le système américain, on admet que la force électromotrice de la dynamo est suffisamment réglée par l'excitation, mais on introduit entre la batterie et les lampes, pour compenser l'élévation de tension des accumulateurs pendant la charge une force contre-électromotrice g_2, à la place d'une résistance d'absorption. La grande différence entre les deux systèmes réside dans la manière d'obtenir les forces contre-électromotrices ; dans le système Auvert, c'est par un moteur série freiné à une valeur constante par des blocs de charbon appuyant sur un tambour, procédé simple mais qui peut donner lieu à déréglage si le frottement des charbons sur le tambour varie. Le dispositif américain ne présente pas de chances de déréglage de ce genre, mais il est beaucoup plus compliqué ; M. Bliss lui donne le nom bizarre de « lessiveur (bucker) », parce qu'il a pour mission de faire disparaitre les excès de tension nuisibles ; on peut l'appeler plus simplement sous-volteur. Il se compose d'un moteur shunt Mm, (M induit, m inducteur) branché en permanence aux bornes de la dynamo principale D et tournant par conséquent en synchronisme avec la force électromotrice de cette génératrice, soit à vitesse sensiblement constante. Sur l'arbre de ce moteur est accouplé le rotor d'une petite génératrice N, dont l'inducteur n à gros fil est placé en série dans le circuit de charge de la batterie A ; le rotor de cette petite génératrice porte deux enrou-

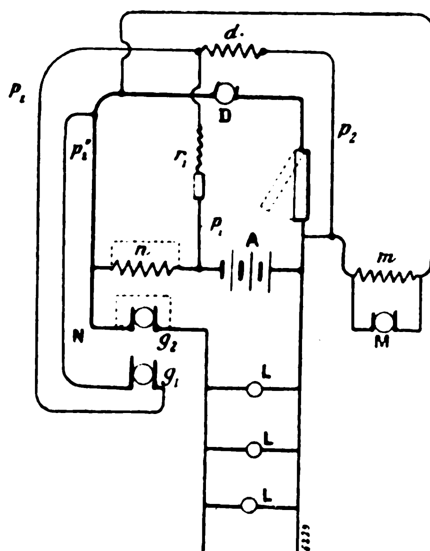


Fig. 7. — Schéma du système décrit par M. Bliss.
— Marche. ... Arrêts.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 426, 20 septembre 1902.

lements induits l'un g_1 en série dans le champ inducteur d de la dynamo principale D et l'autre g_2 en série entre la batterie A et les lampes, comme il a été dit plus haut. Le circuit inducteur d de la dynamo principale D est légèrement excité, même au repos, par les accumulateurs et les fils $p_1 p_2$ avec interposition d'une résistance r_1; il est excité aussi en shunt par les fils $p_2\, p'_2\, p''_2$ lorsque la machine est en vitesse. La manœuvre du disjoncteur a pour effet, en même temps que d'ouvrir le commutateur principal C de la dynamo, de mettre en court-circuit l'inducteur n en série dans le circuit de charge de la batterie B et l'induit g_2 en série dans le circuit des lampes L du sous-volteur (trait pointillé); ceci pour que les lampes L reçoivent directement la tension de la batterie A sans interposition des résistances ohmiques pourtant faibles n et g_2 et surtout pour que, pendant les

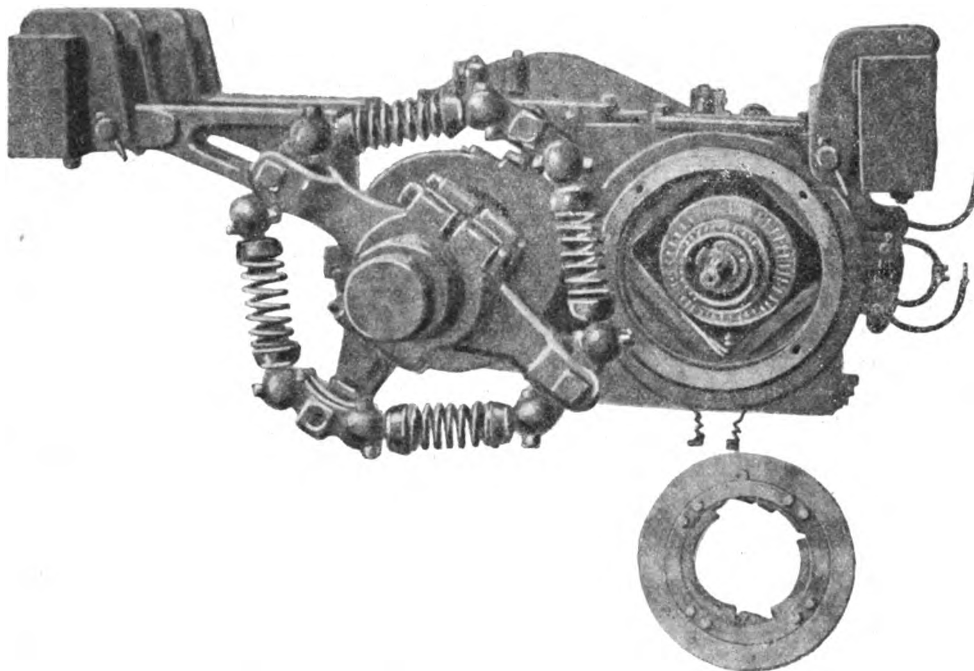


Fig. 8. — Suspension de la dynamo génératrice.
(Communication de M. Bliss.)

arrêts, démarrages et ralentissements, la génératrice N du sous-volteur reste au repos et ne se mette pas à tourner en sens inverse en réceptrice, en entraînant la machine accouplée M qui, de motrice, deviendrait génératrice survolteuse de la batterie A. La chose se voit assez facilement d'après le schéma de la figure 7, que j'ai cherché à rendre le plus clair possible, mais elle était difficile à saisir d'après les explications et le schéma un peu confus donné par M. Bliss, ce qui a valu à ce dernier une demande d'explications complémentaires de la part d'un des membres de l'assemblée de New-York. Sur le circuit d'excitation de la dynamo D se trouve un interrupteur dit « à air » qui coupe le léger courant d'excitation p_1 provenant des accumulateurs, lorsque le train est en stationnement, et ne le fournit en réalité que pendant les démarrages du train qui précèdent la conjonction et les ralentissements qui suivent la disjonction.

La commande de la dynamo se fait suivant une disposition tout à fait particulière, analogue à celle qui a été employée pour transmettre à des roues motrices l'effort d'un moteur de traction puissant, par exemple dans la locomotive Heilmann, ou les voitures à grandes

vitesses des essais de Zossen. L'ensemble de la dynamo, aussi bien *induit* qu'inducteur, est fixé rigidement sur les traverses du châssis d'un bogie du véhicule (voir photographie de la fig. 8), et a par conséquent l'avantage de n'exercer aucune charge statique sur l'essieu. Celui-ci porte simplement un taquet double, manchonné par pression, qui entraîne par l'intermédiaire d'une sorte de couronne formée de quatre ressorts à boudins, montés à chaque extrémité dans des articulations à rotules, et d'un arbre creux traversé librement par l'essieu, une grande roue d'engrenage qui commande par pignon la dynamo d'éclairage ; on a ainsi entre l'essieu et la dynamo une liaison flexible, ne causant pas de chocs brusques sur les engrenages et déformable dans tous les sens de manière à suivre les déplacements du châssis du bogie par rapport à l'essieu. Les engrenages et la dynamo sont enfermés dans des enveloppes hermétiques. Sur la figure 8 on voit nettement à droite l'induit de la dynamo du côté opposé au pignon ; celui-ci n'est pas visible, mais on aperçoit en arrière et à gauche le carter de la grande roue d'engrenage, laquelle est reliée par l'arbre creux avec la couronne flexible visible en avant et à gauche avec son manchon fixé sur l'essieu. On peut remplacer facilement un essieu en défaisant deux attaches reliant le taquet à la couronne flexible et en desserrant quelques boulons qui rendent libre la partie inférieure des inducteurs et l'induit de la dynamo, dont la moitié supérieure des inducteurs reste solidaire du châssis ; si l'on veut démonter la dynamo sans toucher à l'essieu on n'a même pas la peine de détacher la liaison entre la couronne flexible et le taquet. La dynamo a quatre pôles, mais ne porte que deux balais calés à 90° et montés sur la moitié supérieure des inducteurs. L'inversion du courant avec le sens de la marche du train se fait, comme dans les systèmes Vicarino et Dick nouveau (¹), par rotation des balais (de 90° seulement puisque la machine est tétrapolaire) sur un manchon à encoches monté sur l'arbre de la dynamo. L'induit est en tambour à encoches.

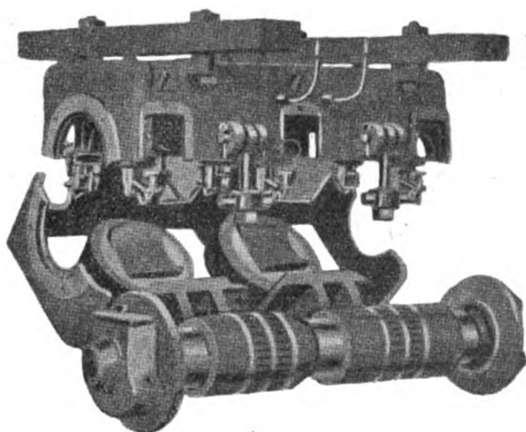


Fig. 9. — Sous-volteur.
(Communication de M. Bliss.)

Le sous-volteur, complètement enfermé aussi, est boulonné sous la caisse de la voiture en un point quelconque. Le bâti est divisé en deux parties facilement démontables, ainsi que le rotor, comme le montre la figure 9. Le rotor se compose de deux induits en tambour à encoches ; celui de gauche a un enroulement et un collecteur ; celui de droite a deux enroulements et deux collecteurs. Les deux champs inducteurs sont bipolaires et les trois paires de balais sont montées latéralement sur la moitié supérieure du bâti. Le mémoire ne donne pas les dimensions de ce sous-volteur, qu'il eût été utile de connaître pour se faire une idée de l'importance de cet organe.

Les autres appareils de réglage sont montés dans l'intérieur de la voiture sur un tableau représenté figure 10, qui paraît de petite dimension. A gauche et en bas, se trouve l'interrupteur principal d'éclairage de la voiture, à droite et en bas l'interrupteur « à air » du schéma de la figure 7. Cet appareil consiste en un petit cylindre avec robinet d'isolement, relié à la conduite du frein à air comprimé et contenant un piston terminé extérieurement

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 424 et 429, 20 septembre 1902.

par une tête portant un disque en laiton légèrement conique, qui peut venir s'engager entre deux contacts inclinés en laiton feuilleté, reliés à l'excitation de la dynamo par la batterie. Tant qu'il y a de l'air dans la conduite du frein, c'est-à-dire tant que le train est en marche, le piston est maintenu soulevé par la pression de l'air comprimé, malgré l'action d'un ressort antagoniste, et le contact électrique existe. Lorsque la conduite du frein se vide par suite d'un freinage du train ou ne contient pas d'air, pendant les garages des voitures non attelées à une locomotive, le piston retombe sous l'action du ressort antagoniste et rompt le contact électrique.

Le conjoncteur disjoncteur, qui est l'appareil le plus délicat du système, est renfermé dans une armoire occupant la partie supérieure du tableau; il est construit à peu près dans la même forme que le dernier modèle du conjoncteur disjoncteur du système Vicarino (¹). Il se compose d'un solénoïde à deux enroulements; une bobine à fil fin en dérivation permanente sur la batterie provoque la conjonction; lorsque la force électromotrice de la dynamo a atteint la valeur de 64 volts correspondant à une vitesse angulaire de la dynamo de 500 tours par minute et à une vitesse du train de 32 kilomètres : heure, le courant principal sortant de la dynamo traverse alors une bobine en série qui maintient énergiquement attiré le piston du solénoïde. Ce piston porte en bas des balais feuilletés qui, au moment de la conjonction, viennent frotter sur des contacts reliés à la canalisation principale de débit de la dynamo; la tige du piston se termine en haut par une tête en forme de fiche conique qui, au repos, met en communication électrique trois contacts en forme de segments établissant les deux courts-circuits représentés en pointillé sur la figure 7. Lorsque la dynamo est mise en circuit, la fiche se soulève et rompt les courts-circuits; en outre elle intercale une résistance additionnelle dans la bobine à fil fin du conjoncteur disjoncteur, qui prend alors moins de courant à la batterie. (Cette économie insignifiante de courant est largement compensée par l'excès de complication introduit par le dispositif).



Fig. 10. — Tableau de manœuvre et de conjonction. (Communication de M. Bliss.)

Sur l'observation de M. Sperry, à New-York, qui s'étonnait que dans un cas de rupture accidentelle du circuit des accumulateurs les lampes aient brûlé (le fait s'explique aisément puisqu'alors le sous-volteur n'étant plus excité, les lampes de 60 à 65 volts étaient soumises à la force électromotrice complète de la génératrice correspondant à la vitesse angulaire de la dynamo, soit plus de 100 volts à 60 kilomètres : heure), M. Bliss a fait connaître qu'on pare maintenant à cet accident possible à l'aide d'un dispositif spécial, dont il n'a pas donné la description, et qui agit en même temps comme limiteur de charge lorsque la batterie est chargée à fond.

M. Bliss n'a pas fourni d'indication précise sur le fonctionnement quantitatif du dispositif de réglage. Il dit que le voltage de la dynamo varie de 64 à 80 volts; mais il est probable que la variation est surtout rapide pendant les quelques minutes d'accélération qui suivent la conjonction, entre 32 et 60 kilomètres : heure, et qu'entre 60 et 100 kilomètres : heure la force électromotrice de la dynamo n'augmente que légèrement avec la vitesse puisque les réactions du système régulateur tendent à maintenir un courant de charge des accumulateurs (en n, fig. 7) constant ou croissant très légèrement avec la vitesse de la dynamo.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 425, 20 septembre 1902.

Comme l'a fait remarquer M. Lyndon, à New-York, ce régime n'est pas très bon pour la conservation des accumulateurs, qui n'auraient pas besoin de recevoir un courant aussi fort lorsqu'ils sont saturés que lorsqu'ils sont vides. La self-régulation obtenue sur l'excitation de la dynamo est certainement bien suffisante, mais la régulation obtenue dans la tension des lampes ne présente pas une précision parfaite. En effet, M. Bliss admet que la tension aux bornes des accumulateurs est proportionnelle au courant qui les traverse ; ce n'est pas tout à fait exact, comme l'a signalé M. Lyndon, car pour faire passer un même courant il faudra plus de tension si les accumulateurs sont saturés, à cause de la force contre-électromotrice plus grande des éléments. Par conséquent le dévoltage produit par g_2 (fig. 7) restant constant pour un même courant de charge, la tension aux bornes des lampes sera un peu plus grande lorsque les accumulateurs seront saturés. On ne peut dire dans quelle mesure, car aucun membre n'a fourni de renseignement à ce sujet. Ce défaut de régularité aux lampes pourra, il est vrai, être réduit en pratique si l'on fait usage d'un limiteur de charge fonctionnant régulièrement.

Le système décrit par M. Bliss est un exemple du soin minutieux mis par les Américains pour étudier les questions dans leurs plus petits détails et de l'ingéniosité qu'ils déploient pour satisfaire à toutes les conditions du problème. Il en résulte, dans le cas présent, sans que la régularité parfaite de la lumière soit obtenue, une complication considérable de l'équipement des voitures, ce qui n'est pas un avantage lorsqu'il s'agit de systèmes d'éclairage électrique montés sur des trains, où l'on doit chercher au contraire, comme le faisait remarquer avec juste raison un des membres, à avoir des appareils en nombre aussi petits que possible, et assez robustes pour ne pas souffrir des fausses manœuvres ou manutentions brutales d'un personnel sans aucune éducation technique.

Il me reste peu de chose à dire sur la discussion des mémoires présentés, puisque j'ai déjà fait connaître les observations se rattachant aux divers systèmes existant en Amérique et dont il a été parlé à la séance.

Le professeur Carhart, à New-York, qui a soin de déclarer qu'il ne s'est jamais occupé du sujet traité, émet cette hypothèse bizarre que l'on pourrait peut-être employer pour l'éclairage des trains la lampe à vapeur de mercure, parce qu'elle peut fonctionner à des tensions très variables.

M. Armstrong, à Shenectady, trouve que la vraie solution de l'éclairage électrique des trains consiste à faire la traction de ces trains à l'électricité, ce qui pourrait être fait sur toute la région Est, de New-York à Albany et de Jersey-City à Washington, où l'on a à desservir une série de trafics locaux plutôt que des communications à très grande distance.

J'ai vu, avec plaisir, M. Neil Williams, dans une note présentée à Pittsburgh, préconiser une solution analogue à celle que j'ai présentée l'an dernier à la Société des Electriciens de Paris. M. Neil reproche à tous les systèmes commandés par l'essieu d'être beaucoup trop compliqués et préfère les systèmes beaucoup plus simples d'éclairage des trains entiers par un seul groupe électrogène composé d'une dynamo mue par un moteur à vapeur, que l'on pourrait avantageusement placer sur la locomotive au lieu de le mettre dans le fourgon. On pourrait simplifier la conduite générale d'éclairage en faisant le retour par le châssis et les rails. J'avais suggéré l'an dernier de supprimer les accumulateurs sur les trains effectuant leur trajet sans changer de machine. M. Neil va plus loin et propose cette solution même pour les grands trains, en se servant de l'ingénieux artifice consistant à prendre, pendant les changements de machine, le courant d'éclairage sur une canalisation

en troisième rail s'étendant sur les voies de la gare. A cet effet, un sabot serait monté sous les locomotives et les fourgons (M. Neil dit sous toutes les voitures, mais ce serait inutile) et le courant serait fourni par les locomotives elles-mêmes pendant leur manœuvre, et par une petite batterie fixe installée dans la gare dans des cas exceptionnels de wagons-lits prenant des voyageurs bien avant la mise en feu des locomotives.

Le président Scott a tiré dans une harangue terminale, à New-York, la vraie conclusion de cette réunion, lorsqu'il a déclaré qu'elle aurait pour but d'éviter aux inventeurs novices, dans l'esprit desquels germerait quelque idée concernant l'éclairage des trains, bien des travaux inutiles et des déboires, en leur faisant connaître tout ce qui a déjà été fait dans cette voie et quelles difficultés multiples présente ce problème si simple en apparence.

CH. JACQUIN.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

Rapport sur l'exploitation du chemin de fer suspendu monorail Barmen-Elberfeld-Vohwinkel, par **C. Kopcke, A. Goering** et **von Borries.**

Dans le numéro du 13 juillet 1901 de cette revue a été donnée une description détaillée de ce chemin de fer (t. XXVIII, p. 41-64) ; le rapport des trois experts nous fournit quelques renseignements sur les observations faites pendant une exploitation d'un peu plus de deux ans [1], et indique en outre les raisons qui paraissent recommander ce système pour les chemins de fer à grande vitesse qu'il est question de construire.

I. Après un historique sommaire du chemin de fer (voir la note de la page 43 du tome XXVIII), les experts font ressortir les avantages de la voie suspendue *monorail* sur la voie ordinaire et sur la voie suspendue *birail* qu'on devait tout d'abord utiliser pour le chemin de fer Barmen-Elberfeld-Vohwinkel.

Dans les voies à deux rails il faut, dans les courbes, donner une surélévation au rail extérieur. Or cette surélévation ne peut correspondre qu'à une seule vitesse et toute vitesse des véhicules autre que celle pour laquelle la surélévation a été calculée provoque des pressions plus ou moins fortes des bourrelets des bandages contre les rails, d'où usure rapide du matériel et trépidations transversales des véhicules extrêmement désagréables pour les voyageurs.

La surélévation du rail est d'ailleurs *très limitée* par suite de l'obligation où l'on est d'éviter le danger qu'elle présente de provoquer le renversement d'un train qui serait accidentellement obligé de s'arrêter dans la courbe et qui subirait en outre la pression du vent soufflant de côté [1] ; il en résulte que les vitesses possibles au passage d'une courbe donnée sont elles-mêmes comprises entre des limites assez étroites.

L'inclinaison que le véhicule peut prendre contre la verticale est limitée, en Allemagne, à un angle de 6°, tout au plus 7° 30', correspondant à une surélévation du rail de 15 à 20 cm. Même sur des lignes affectées exclusivement au trafic extra-rapide et possédant des deux côtés des contre-rails sur toute leur longueur, cet angle ne peut dépasser 11° 20'.

[1] Un premier tronçon a été inauguré le 1er mars 1901 ; un second, formant avec le premier une longueur totale de 7,5 km fut livré à l'exploitation à la fin du mois de mai de la même année. Le dernier tronçon, de 5,7 km, a été mis en service le 27 juin dernier ; on a apporté dans la construction de ce tronçon quelques améliorations, indiquées par l'exploitation des deux premiers.

[1] Le cas s'est produit deux fois en Saxe sur un chemin de fer à voie étroite où, dans ces circonstances, le train fut renversé au milieu de la courbe et précipité du haut d'un pont. Après cet accident on s'est vu obligé d'ériger à cet endroit un mur de protection très élevé.

Dans le chemin de fer suspendu monorail, l'inclinaison du véhicule est limitée uniquement par la forme de la superstructure métallique, qui doit laisser un emplacement suffisant aux côtés du véhicule ; mais une inclinaison de 35 à 40 degrés y est parfaitement admissible, et cette inclinaison correspond, pour la vitesse de 90 ou 98 km : h, à une courbe de 90 m de rayon, et pour la vitesse de 200 km : h, à une courbe de 440 à 376 m de rayon, tandis que le chemin de fer ordinaire nécessite pour la vitesse de 200 km : h la courbe minima de 2 500 m de rayon, ou de 1 575 m s'il est spécialement construit en vue d'un trafic extra rapide. [1]

Afin d'utiliser les très fortes inclinaisons de 30 à 40 degrés qui, selon toutes les expériences [2], sont parfaitement admissibles, on n'a qu'à bien exécuter et suffisamment prolonger les raccordements qui relient les courbes à la ligne droite. Si ces courbes de raccordement et les attaches des rails sont d'une bonne exécution et si, au repos, le centre de gravité du véhicule se trouve bien verticalement sous l'axe du rail de roulement, l'inclinaison de la voiture se produira sans aucun mouvement de balancement au parcours de la courbe et restera donc imperceptible pour les voyageurs, ceux-ci subissant eux-mêmes les effets de la force centrifuge.

La réalisation absolue et permanente de ces trois conditions n'est certes pas possible, [3] mais, grâce au monorail sur longrine continue, il est facile d'obtenir de la construction de la ligne que les oscillations des véhicules, oscillations qui sont d'ailleurs toujours lentes et sans secousses, restent à peine perceptibles et ne produisent aucun désagrément pour les voyageurs.

Dans les chemins de fer ordinaires, au contraire, toutes les irrégularités dans la pose des rails aux courbes se transmettent aux voyageurs par des chocs latéraux provoqués par ce fait que les wagons ne peuvent pas suivre les variations naturelles de la force centrifuge. Les voyageurs, dans les meilleurs trains express des meilleures lignes, subissent et considèrent comme quelque chose de tout naturel et d'inévitable ces secousses dont l'intensité augmente à peu près comme le carré de la vitesse et dont le danger est d'autant plus grand que l'exactitude de la position des deux rails, déjà si difficile à obtenir, ne se maintient que très peu de temps dans une voie sur le sol.

L'invariabilité de position des rails, indispensable pour un trafic extra rapide, reste impossible si l'on ne fait pas supporter cette voie par une superstructure élevée et si l'on n'évite pas la moindre discontinuité à la traversée d'autres lignes. Mais même lorsqu'on a rempli ces conditions premières de sécurité, on ne peut encore donner aux rails la surélévation correspondant à une grande vitesse et par conséquent on n'évite pas les chocs latéraux qui proviennent de ce fait et des irrégularités dans la pose [1].

Dans tous les cas, qu'il s'agisse de lignes urbaines ou d'un trafic interurbain avec des vitesses de 150 à 200 km.h : il ne peut donc y avoir de comparaison, d'après les experts, entre un chemin de fer snspendu et un chemin de fer ordinaire sur traverses ou longrines posées sur sol. Le chemin de fer suspendu monorail ne peut être comparé qu'à un chemin de fer birail élevé et placé sur fondations invariables et ininterrompues. Or, même sur un tel chemin de fer, l'on ne pourra obtenir une marche aussi régulière et dénuée de secousses que sur le chemin de fer suspendu, surtout pour les grandes vitesses. D'ailleurs comme la vitesse de 200 km:h possible dans les courbes de 500 m avec le chemin de fer suspendu, exige un rayon trois

(1) Dans les chemins de fer avec arrêts fréquents, il ne saurait être question d'inclinaisons et de vitesses semblables. Ainsi, pour le chemin de fer suspendu Barmen-Vohwinkel, la superstructure métallique limite à 15 degrés l'inclinaison que le véhicule peut prendre, car il n'y avait pas lieu d'envisager pour cette ligne des vitesses de plus de 55 km à l'heure et des courbes de moins de 90 m de rayon.

(2) On put parcourir sans inconvénient à Deutz des courbes de 9,50 m de rayon avec une inclinaison de 25°, si bien que les voyageurs debout ne purent, les rideaux des fenêtres étant baissés et l'intérieur de la voiture éclairé, ni s'apercevoir de l'inclinaison ni constater de différence entre le passage de courbes et la marche en ligne droite.

(3) Voir les recherches de R. Petersen dans le *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1900, p. 155 et 156.

(1) Voir entr'autres les explications détaillées de Dolezalek dans le *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1901, cahier 5 ; ainsi que celles de Petersen dans le *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 1902, p. 523.

fois plus grand pour le chemin de fer birail établi dans ces conditions sévères, le chemin de fer birail ne sera possible qu'en pays absolument plat. D'autre part, la superstructure métallique d'une voie à deux rails sera nécessairement plus large et plus massive que celle d'une voie monorail : l'esthétique, en admettant qu'il y ait lieu de la prendre en considération, indiquerait donc ce dernier système. Les dangers de déraillement, à peu près nuls sur une voie monorail suspendue sont toujours à craindre sur une voie birail, même avec l'emploi de contre-rails continus tant en ligne droite que dans les courbes. L'efficacité du freinage sur une voie monorail est également plus grande que sur une voie à deux rails, les freins portant sur l'âme du rail dans le premier système. Le poids des voitures par place disponible est aussi plus faible pour les véhicules du système monorail que pour les véhicules ordinaires, les bogies des premiers n'ayant que deux roues au lieu de quatre. Enfin, par suite de cette diminution du poids du matériel, par suite aussi de la diminution du frottement résultant de la suppression du second rail et de la suppression des pressions dans les courbes, la consommation de force motrice est bien supérieure avec le système monorail qu'avec le système birail.

II. — Dans la seconde partie du rapport les experts font connaître les observations faites pendant l'exploitation de la ligne Barmen-Elberfeld-Vohwinkel; en voici la reproduction :

« Les résultats de l'exploitation n'ont pas seulement justifié toutes les attentes raisonnables, mais le nouveau moyen de communication a même très rapidement conquis les suffrages de la population entière, qui en fait un usage excessivement fréquent et rémunérateur pour l'exploitation.

» *Roulement doux et sans secousses.* — Les voitures sont agréables et commodes et laissent la vue libre de tous les côtés. Le mouvement, aussi bien aux démarrages et arrêts que pendant le parcours, est parfaitement doux, uniforme et sans secousses. Sous ce rapport, le chemin de fer suspendu n'est égalé par aucun autre système. Quelques-unes des voitures balancent encore un peu à certains endroits, mais ces oscillations, dont nous parlerons encore, disparaissent après quelques mouvements absolument sans secousses. Il se peut que parfois une personne de sensibilité extrême trouve ces oscillations désagréables et il arrive fréquemment que les voyageurs nouveaux s'en aperçoivent; par contre, tous les habitants de la ville utilisent constamment le chemin de fer monorail suspendu et ne font aucune attention aux balancements, qu'ils trouvent sans doute beaucoup moins désagréables que les secousses, trépidations et autres mouvements des chemins de fer ordinaires.

» L'oscillation régulière de la voiture au passage des courbes se fait d'une façon si douce qu'on ne peut s'en apercevoir que si l'on regarde par les fenêtres les objets fixes. On a au contraire la sensation très agréable de se trouver constamment en équilibre avec la voiture même pendant les oscillations, la résultante de la force centrifuge et de la pesanteur étant toujours normale par rapport au sol de la voiture.

» *Mouvements oscillatoires.* — Le fait que les balancements, toujours légers d'ailleurs et en général à peine perceptibles, ne se produisent pas toujours dans les mêmes conditions et avec la même intensité, prouve qu'ils proviennent d'irrégularités dans la pose de la voie. On a reconnu ces irrégularités et sous peu on y aura complètement remédié.

» Une partie de ces balancements est due au mode de suspension de la caisse de la voiture, qui est rattachée par des ressorts au-dessous de deux bras d'acier qui la relient au châssis du bogie. Or, ces ressorts permettent à la caisse de se balancer sous l'influence d'efforts exercés dans le sens latéral.

» Toutes les causes du mouvement oscillatoire étant actuellement connues, elles seront évitées à la rectification des courbes et des raccordements et par la reconstruction des voitures. Des balancements peuvent aussi être provoqués par une tempête soufflant de flanc contre les voitures, mais dans aucun cas il ne peut en résulter de danger et à Elberfeld le vent n'a eu jusqu'à présent aucune influence sous ce rapport.

» *Suspension des voitures.* — La voiture est suspendue aux roues par un support en forme de crochet, construit avec une très grande solidité, en tôle d'acier, Ce support embrasse le rail avec un jeu vertical de 7 mm en-dessous et de 25 mm au-dessus du rail. Les roues embrassant de leur côté la tête du rail avec un double rebord de 30 mm de hauteur, un déraillement est absolument impossible et en cas de bris de bandages

ou d'essieux, la partie supérieure du support crochet, après la faible chute de 25 mm, traîne sur le rail qu'il embrasse des deux côtés, de sorte qu'une chute de la voiture est absolument impossible. De plus, tous les autres organes de la suspension sont construits de telle façon qu'en cas de bris d'un organe, d'autres parties entrent aussitôt en ligne pour rendre impossible la chute de la caisse de la voiture.

» *Rendement de la ligne.* — Le service se fait jusqu'à présent avec des voitures simples et des trains de 2 à 4 voitures. Toutes les voitures sont motrices et, en cas de formation d'un train de plusieurs voitures, celles-ci reçoivent le courant électrique par la voiture de tête. La voiture de tête contient 32 places assises et 14 places debout alors que les autres voitures non munies d'appareils de couplage et pesant à vide seulement 11 175 kg peuvent recevoir en tout 50 voyageurs.

» L'intervalle entre deux trains peut être réduit à 2 minutes et demie. Actuellement on fait circuler de 5 heures du matin à minuit 181 trains avec 229 voitures, soit 10 726 places dans chaque direction ou un total de 21 452 places par jour.

» En utilisant l'intervalle minimum de 2 minutes et demie, on peut transporter $24 \times 96 = 2\,304$ personnes par heure, ou 4 600 dans les deux directions sans encombrement, et le double si les stations avaient la longueur nécessaire pour utiliser les trains de 4 voitures motrices que l'on fait circuler à titre d'expérience.

» *Sécurité.* — Les distances voulues entre les trains sont assurées par un système automatique de signaux électriques, de telle sorte que jour et nuit le conducteur du train voit une lumière rouge lui défendant le départ d'une station tant que le train précdeént n'a pas quitté la station suivante. Au moment du départ du train, la lumière rouge se change en lumière verte. En cas d'accident dans la station même, le préposé de la station peut empêcher que la lumière rouge soit changée en verte, mais il ne lui est pas possible de donner la lumière verte sans que le passage soit libre. Le passage des excentriques et bifurcations est également assuré d'une façon complète par une fermeture électrique et automatique des aiguilles, en communication avec les signaux.

La conduite et les interruptions du courant pour les moteurs, freins et fermeture des portes dans les voitures sont également combinées à la perfection.

» Bien que tout soit réglé par le conducteur du train, le percepteur placé dans chaque voiture peut néanmoins opérer l'arrêt du train en cas d'accident.

» Le freinage peut être obtenu par trois moyens: d'abord par le frein Westinghouse, dont l'air comprimé se trouve dans des tubes réservoirs sous le plancher des voitures ; ensuite par un frein à vis ordinaire, agissant par le moyen d'un câble sur les sabots du frein à air comprimé, et enfin par un court-circuit des moteurs électriques, agissant sur toutes les roues du train.

» On se sert toujours du frein à main à l'entrée des stations terminus et tous les modes de freinage sont d'ailleurs mis en usage alternativement, afin d'entretenir leur bon fonctionnement.

» S'il arrivait qu'un train soit arrêté en route, les voyageurs pourraient bien facilement passer dans un train amené à côté sur la contre-voie : les portes des voitures sont disposées en conséquence et par la porte qui se trouve à l'extrémité de la dernière voiture, on peut, avec une échelle spéciale, monter sur le tablier et gagner à pied la station.

» Il résulte de la description du chemin fer monarail suspendu que la sécurité y est au moins égale à celle du chemin de fer ordinaire, mais sous les rapports des déraillements rendus impossibles et du freinage rapide, le chemin de fer monarail suspendu est incontestablement supérieur à tout autre.

» *Bruit du roulement des trains.* — Le bruit du roulement des véhicules et celui des trépidations de la superstructure sont insignifiants et beaucoup moindres que tous les autres chemins de fer élevés actuels. Il faut bien distinguer ces bruits de celui causé par les engrenages des moteurs. Celui-ci a lieu sur tous les chemins de fer électriques, il provient des petites irrégularités des engrenages et en soignant bien ceux-ci on peut diminuer et même supprimer ce bruit. Toutefois, l'ensemble des bruits inhérents au mouvement des trains du chemin de fer suspendu à Elberfeld est tout à fait insignifiant, comparé au roulement bruyant des chemins de fer ordinaires et des véhicules circulant dans la rue.

De plus, ces bruits se dispersent dans l'air

sans répercussion, grâce à sa charpente métallique à larges trames à jour.

» *Poids des voitures.* — Le poids des voitures motrices est de 12,2 tonnes à vide ou 265 kg par place. Il est donc beaucoup plus faible que celui des chemins de fer ordinaires comparables, grâce à la simplicité des bogies qui n'ont que deux au lieu de quatre roues, grâce aussi à l'absence de longs essieux et autres pièces et à la légèreté de la caisse qui ne doit pas être construite en vue de résister aux efforts de torsion, mais dont les parois verticales seules subissent des efforts de traction et fort peu de compression.

» Il est évident que le faible poids des voitures parle en faveur de la consommation de force motrice et partant de la diminution des frais d'exploitation.

» *Diminution des résistances et économie de la consommation.* — Une économie de la consommation de la force motrice résulte encore de la suppression du second rail, source d'irrégularités des mouvements causés par les défauts de la pose de la voie et le jeu inévitable entre les roues et les rails.

» Une autre économie de la consommation résulte du peu de résistance que les courbes offrent au roulement, puisqu'il n'y a plus aucune pression latérale des roues contre les rails, ni aucune résistance provenant de l'inégalité des diamètres des deux roues calées sur un même essieu.

» Enfin, l'air offre également moins de résistance aux véhicules du chemin de fer suspendu, car il peut s'échapper tant vers les côtés et au-dessus qu'en-dessous de la voiture, tandis qu'avec les voitures électriques ordinaires sur le sol, l'échappement de l'air par en-dessous ne peut se faire.

» Dans le chemin de fer suspendu d'Elberfeld toutes les roues étaient d'abord motrices par engrenage avec le moteur commun placé entre les deux roues d'un bogie. Cependant cet accouplement a occasionné certaines pertes de travail. A titre d'essai, on s'est borné à n'utiliser qu'une des roues de chaque bogie comme roue motrice et on a dans ces conditions enregistré la consommation du courant sur un parcours de 15,2 km à 24 arrêts, avec voiture (partiellement chargée) du poids total de 14,6 tonnes. La vitesse était de 30 km par heure. La consommation fut de 6375 watts-heure par voiture-kilomètre, et 28,8 watts-heure par tonne-kilomètre. Dans des conditions semblables, on compte, aux chemins de fer ordinaires, 35 à 40 watts-heure par tonne-kilomètre. Le chemin de fer monorail suspendu a donc donné une économie de 18 à 28 p. 100, malgré de nombreuses courbes de 90 mètres de rayon.

» Il résulte de ces expériences qu'à l'avenir chaque roue aura son moteur et comme pour une installation d'une si grande nouveauté on ne peut manquer de recueillir de précieux enseignements par l'expérience, il est à présumer que l'économie sera encore bien plus grande dans les constructions futures.

» D'après ce qui précède, le chemin de fer suspendu monorail système Langen paraît donc particulièrement approprié aux villes et banlieues, dont il n'encombre pas les rues. Il fait moins de bruit, laisse plus de lumière aux rues et ses mouvements sont plus doux que ceux du chemin de fer élevé ordinaire; seulement il n'est pas possible d'y faire circuler les véhicules des autres chemins de fer. Cela peut avoir de l'importance pour un réseau de ligne de banlieue, en relation directe avec des lignes urbaines élevées, mais dans ce cas une disposition pour changer de train sera presque toujours plus économique et le chemin de fer suspendu s'y prête admirablement bien : passant au-dessus du chemin de fer ordinaire, un escalier met les deux trains en communication dans la même gare. »

III. — La troisième partie du rapport est consacrée à la comparaison du chemin de fer suspendu monorail avec d'autres chemins de fer à rail porteur unique et aux avantages du chemin de fer suspendu dans les grandes vitesses. »

La comparaison est surtout faite avec le système Lartigue-Behr essayé à Tervueren, près de Bruxelles, pendant l'exposition de 1897 et dont l'application vient d'être autorisée par le Parlement anglais sur la ligne à grande vitesse projetée entre Liverpool et Manchester. Les experts, à qui nous laissons toute la responsabilité de leurs appréciations, estiment que tous les systèmes à rail porteur unique, mais à rails de guidage « sont absolument inférieurs au chemin de fer suspendu monorail à véhicule libre. »

« Ce que nous venons de dire, ajoutent-ils,

s'applique également aux systèmes où la voiture est à califourchon sur un rail porteur, système présenté par Le Roy Stone à l'Exposition de Philadelphie en 1876 [1]. Plus tard, ce même dispositif fut employé à Alger sous le nom de Lartigue, pour de courts transports à traction animale, et en Irlande pour trains de voyageurs [2].

» La caisse de la voiture y porte tout le long de son axe une fente qui monte à mi-hauteur et enferme les roues disposées en tandem, et, en dessous d'elles, le rail porteur.

» La fente s'élargit suivant le profil du chevalet sur lequel repose le rail. Ce même chevalet est muni à droite et à gauche d'un rail servant de guide à la voiture au moyen de roues horizontales, disposées sous le plancher de la voiture.

» Le jeu des roues et l'usure produiront naturellement des mouvements oscillatoires qui pourront cependant être amortis par des ressorts.

» Comme la fente divise la voiture en deux compartiments longitudinaux, il est nécessaire d'établir deux quais d'embarquement pour chaque voie, ce qui est un inconvénient et empêche une bonne répartition des voyageurs.

Ce même système, adapté à la grande vitesse avec un rail porteur et 4 rails guides, fut présenté par l'ingénieur anglais Behr à Bruxelles en 1897 et le Parlement anglais approuva son projet pour une ligne à trafic rapide entre Liverpool et Manchester [3]. Il s'agissait de franchir des courbes de 600 m de rayon, des rampes de 1 : 150, avec tronçons de 1 : 25, à la vitesse de 175 km par heure. Il était prescrit que les véhicules n'auront aucune inclinaison au parcours des courbes. M. Behr trouva cette inclinaison inopportune pour un chemin de fer à 5 rails : de fait il serait sans doute impossible de l'obtenir.

» Le plancher de la voiture est établi au-dessus du rail porteur. La division de la voiture en deux compartiments longitudinaux n'existe donc plus que pour une partie de 3,7 m de long, qui enferme les roues verticales; un double quai d'embarquement n'est donc plus nécessaire.

» La voiture, disposée pour 38 personnes, comporte, outre les quatres roues verticales porteuses, 15 roues horizontales guides. La caisse a 3,50 m de hauteur (dont 2,10 m seulement au-dessus du plancher) et 3,35 m de largeur. Des 4 roues porteuses, deux de 1,20 m de diamètre sont motrices et deux de 0,93 m de diamètre simplement porteuses. L'empattement de ces 4 roues est 7 m. Les détails manquent sur la façon dont s'opère le passage des courbes avec ce véhicule de 12,75 m de longueur et 7 m d'empattement. Les moteurs électriques, placés sous le plancher sont accouplés aux roues motrices par des engrenages d'un type spécial qui aura d'abord à faire ses preuves, étant donnes les très grands efforts à vaincre et les très grandes vitesses à obtenir.

» La voiture vide pèse 38 tonnes, soit 1 000 kg par place de voyageur. L'effort nécessaire est en moyenne de 518 chevaux et au démarrage 1 100 chevaux. L'auteur du projet avoue lui-même qu'il sera impossible d'accoupler plusieurs voitures.

» En présence de ce chemin de fer à 5 rails et de cette voiture à 2 conducteurs de courant et à 20 roues, plus 8 roues de prise de courant, on doute sérieusement qu'il soit possible d'exécuter et d'entretenir tout ce dispositif avec les soins et l'exactitude indispensable pour les grandes vitesses à effectuer, surtout dans les courbes de raccordement.

» Si la difficulté paraît déjà insurmontable pour la voie, elle l'est à fortiori pour la voiture avec son multiple mécanisme, ses essieux très courts et ses roues de diamètres différents. Mais cela fût-il même possible, les dépenses pour la construction, l'entretien et la consommation de force motrice de voitures si compliquées et si lourdes seront énormes, et l'on se trouve encore en présence des inconvénients, dans le présent cas très graves, d'un véhicule qui ne peut pas prendre la position voulue dans les diverses phases de son parcours et secoue donc constamment les voyageurs.

---

[1] « Voir Heusinger, *Eisenbahntechnik*, t. V, 1878, p. 523, tableau 78. »

[2] « Voir Röll, *Encyclopädie des Eisenbahnwesens*, t. III, article : *Einschienenbahn*. »

[3] « Voir *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 1902, n°s 14 et 15 avec reproductions (le nom « monorail » chemin de fer à voie unique ne semble guère pouvoir être adopté pour ce système, voir page 492, figure 21 avec 5 rails). — Lors des essais de Bruxelles on a soi-disant parcouru des courbes de 500 m de rayon avec une vitesse maxima de 138 km et une vitesse moyenne de 120 km. Il n'est rien dit des effets de cette vitesse sur les personnes se trouvant à l'intérieur des voitures ».

» Il est encore très douteux qu'il suffise d'établir le chevalet à cinq rails sur de simples traverses en bois logées dans le sol.

» Quant au chemin de fer suspendu d'Elberfeld, il a été construit pour la vitesse minime de 50 à 55 km, et il se peut que pour de très grandes vitesses le poids des véhicules et de la superstructure soit un peu plus grand, mais cette augmentation de poids ne se fera que dans le rapport de l'augmentation de la charge par mètre courant et ce système conservera sur celui à cinq rails de Behr les avantages d'une simplicité et d'une légèreté surprenantes, de la liberté absolue des véhicules dans le parcours des courbes, de la possibilité de maintenir la grande vitesse dans les courbes de faible rayon, d'une consommation et de frais d'exploitation beaucoup moindres, pour un rendement égal et même supérieur. »

Passant aux avantages du chemin de fer dans les grandes vitesses, les experts s'expriment ainsi :

» Si jusqu'à présent les essais de grande vitesse ont fait défaut, les résultats et avantages obtenus permettent néanmoins de dire d'une façon incontestable que le chemin de fer suspendu du système Langen convient particulièrement au trafic rapide.

» On ne saurait attacher trop d'importance à la propriété que possède par excellence le chemin de fer suspendu de pouvoir être établi au dessus des lignes existantes des chemins de fer ordinaires, dont il peut assurer à part le trafic rapide, puisqu'il a l'avantage de réaliser la vitesse de 200 kilomètres à l'heure dans les courbes de 500 m en usage pour les lignes du sol.

» De cette manière, on épargne pour les nouvelles lignes à trafic rapide, les dépenses d'acquisition de terrains et de terrassements, sauf pour les blocs d'appui des pylônes. Les endroits où les rues ou autres obstacles de faible hauteur croisent le chemin de fer ordinaire seront facilement franchis par le chemin de fer suspendu, à l'aide des fortes pentes que permet la traction électrique. Seulement lorsqu'il s'agira de traverser de grandes hauteurs au moyen d'un tunnel, il sera nécessaire d'établir un tunnel spécial pour le chemin de fer suspendu.

» Il est très facile d'obtenir à tout endroit voulu une communication directe entre le chemin de fer suspendu et celui sur sol dans une halte commune, où les voyageurs de l'un n'auront qu'à monter ou descendre un escalier pour aller prendre l'autre.

» En résumé, l'exploitation du chemin de fer suspendu d'Elberfeld nous semble démontrer, mieux que toutes les comparaisons, les qualités et les avantages du système Langen. Innombrables étaient les difficultés qu'il fallait surmonter lors de son établissement : ces difficultés ont été résolues avec succès, de même que nombre de problèmes nouveaux qui se sont présentés depuis.

» La plupart des objections et critiques qu'on avait formulées au commencement et que l'on entend encore parfois maintenant, tombent à néant dans l'esprit du visiteur impartial dès le premier parcours, mais l'ingénieur, par un examen plus attentif, reconnaît la possibilité de progresser dans les perfectionnements et prévoit les précieuses adaptions de ce système aux exigences les plus grandes du trafic urbain.

TÉLÉGRAPHIE

Sur les cohéreurs à goutte de mercure, par **Th. Tommasina**. *La Machine*, 5e année, p. 111, 25 mai 1903.

Dans un article publié dans cette revue il y a près d'un an (¹), M. Turpain, en relatant les expériences faites par le capitaine de corvette de la marine italienne, Quintino Bonomo, décrivait, sous le nom de cohéreur Castelli, le cohéreur à goutte de mercure employé dans ces expériences, puis, plus tard, dans les expériences de Marconi entre Poldhu et Terre-Neuve (²).

D'une communication faite par M. Tommasina à la séance du 12 mai dernier de l'Institut national génevois et analysée dans la *Machine* du 25 mai, il résulte que l'invention de ce cohéreur est due à M. Tommasina.

Comme preuve de cette antériorité, ce dernier rappelle une note présentée à l'Académie des sciences de Paris le 1er mai 1899 (³), note qui

(¹) *Écl. Élect.*, t. XXXII, p. 380, 13 septembre 1902.

(²) Voir l'article de M. J. Reyval, *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 45, 10 janvier 1903.

(³) Cette note a été analysée dans *L'Éclairage Électrique* du 20 mai 1899 (t. XIX, p. 278), mais la phrase que nous signalons ici n'avait pas été reproduite.

débute ainsi : « Dans mes recherches sur les cohéreurs à contact unique, *après en avoir obtenu de très sensibles au moyen d'une goutte de mercure placée dans un tube de verre entre deux électrodes cylindriques en laiton*, j'ai essayé d'en produire par des liquides plus ou moins diélectriques, le dispositif étant celui que j'ai indiqué dans mes notes du 12 décembre et du 13 mars. »

La *Machine* ajoute, pour expliquer la réclamation tardive de M. Tommasina :

» Ce n'est que depuis peu de temps que M. Tommasina a eu connaissance de la déclaration de M. Marconi (dans une conférence faite l'année dernière à la Royal Society, de Londres) et de la polémique qui l'avait suivie, c'est la raison pour laquelle il a attendu jusqu'à ce jour pour intervenir dans la question de priorité dans le but d'établir la vérité, laquelle est : *que le cohéreur à mercure, utilisé par la marine italienne en janvier 1901, lequel a permis à Marconi d'établir par l'expérience la possibilité de la télégraphie sans fil avec l'Amérique, est né dans le laboratoire de l'Université de Genève en 1899 et ne peut être ainsi monopolisé par personne.*

» C'est l'importance du fait établi par la déclaration publique de M. Marconi qui a décidé M. Tommasina à la réclamation actuelle de priorité, car il connaissait le fait, depuis une année par le volume paru en 1902 à Rome « Sur les expériences de télégraphie sans fil, exécutées par la marine italienne, du 1er septembre 1900 au 18 mai 1901 par le capitaine Quintino Bonomo ». Edition de la *Rivista Marittima*.

» A la page 11 de ce volume on lit en effet : » Notre intention était de terminer complète- » ment les études sur les appareils Marconi, » avant de commencer les expériences avec les » méthodes de Popoff et de Tommasina, lorsque » nous avons été poussés à entreprendre celles-ci » immédiatement pour consentir au désir exprimé » par le sémaphoriste Castelli d'essayer avec la » réception téléphonique un petit tube construit » par lui. »

» Les communications de M. Tommasina étaient donc connues et étudiées ; elles étaient d'ailleurs toujours reproduites par les revues techniques italiennes, et juste six mois auparavant la revue l'*Elettricità* dans son numéro du 7 juillet 1900 avait publié un résumé de sa lecture à la Société de Physique de Genève, séance du 3 mai 1900, où il était de nouveau décrit un cohéreur auto-décohérent à goutte de mercure qui est celui proposé par Castelli. Dans cette même page se trouve établie la priorité, d'une année, de M. Tommasina, sur M. Popoff (1) pour l'emploi du téléphone dans la télégraphie sans fil (2).

» D'après le volume précité de M. Bonomo, les résultats obtenus avec ce cohéreur à mercure ont été excellents... « et les petits tubes imaginés par Castelli, à électrodes de fer ou de *charbon* avec *une* ou plusieurs gouttes de mercure, en plus de présenter une très grande sensibilité, se décohéraient parfaitement. »

» Or, comme nous l'avons dit, ces expériences avaient lieu vers la fin du mois de janvier 1901 (page 58 du volume de M. Bonomo) ; à cette même page il est dit que « la réception télépho- » nique qui avait été entreprise comme contrôle » du système Marconi, remplaça bientôt com- » plètement ce dernier système qui s'était mon- » tré insuffisant pour assurer la constance des » communications au delà de 70 km ».

» Enfin les expérimentateurs de la marine italienne mentionnent encore que :

» Les tubes à poudre de charbon et à élec- » trodes de charbon ou de zinc, s'ils sont abso- » lument construits et réglés suivant les indi- » cations de Tommasina, doivent donner des » résultats semblables à ceux des tubes à mer- » cure, mais le manque de temps ne nous per- » mit pas de faire de sérieuses expériences » comparatives. »

» Nous devons encore faire remarquer que dans la table XIV, (fig. 5 du volume) de M. Bonomo, est dessiné le cohéreur de M. Tommasina, décrit dans le numéro du 7 juillet 1900 de l'*Elettricità*, de Milan. »

ÉLECTROCHIMIE

Les applications du carbure de calcium dans l'industrie chimique, par **O. Sandmann.** *Zeitschrift für angewandte Chemie*, t. XIV, p. 670, traduit dans le *Moniteur scientifique du docteur Quesneville*, 4e série, t. XVII, 2e partie, p. 522-523, juillet 1903.

Après une note historique sur les phases

(1) *Comptes rendus Soc. Phys.*, Genève, 5 janvier 1899.

(2) *Arch. des sciences physiques et naturelles*, juin 1900, p. 586.

du développement de l'industrie du carbure de calcium [1], l'auteur expose, comme il suit, les tentatives faites en vue de trouver à ce corps des débouchés dans la fabrication des produits chimiques.

Warren [1], en 1897, s'est déjà occupé des propriétés réductrices du carbure. Grâce à ce composé il réduisait les oxydes de fer, de plomb, d'étain, de cuivre, de manganèse, de nickel, de molybdène et de tungstène qui, en présence d'un excès de carbure de calcium, donnent des alliages avec le calcium. Il a aussi effectué la réduction des chlorures. Goldschmidt [2] a employé le carbure au lieu d'aluminium dans son procédé métallurgique. Fröhlich a aussi essayé de rendre cette réaction pratique. D'après les indications que cet auteur a données à la séance générale de la Société des acétylénistes allemands, on mélange avec du carbure les produits de grillage ou de lessivage des minerais et, en chauffant à une température peu élevée, on obtient le métal pur ou des alliages. Par tonne de métal, il faut 100 à 250 kg de carbure. C'est à tort que Neumann [3] considère ce procédé comme sans valeur industrielle parce qu'il ne s'applique qu'à la réduction des chlorures et des oxydes. La déshydratation des premiers serait coûteuse; on pourrait, pour les oxydes, employer directement les résidus de grillage, mais tous les minerais accessoires seraient réduits en même temps. Neumann tient pour plus avantageuse la

(1) Peu d'industries, dit l'auteur, ont pris un développement aussi rapide que celle du carbure. De nombreuses fabriques se sont édifiées sur l'espoir qu'on avait de la concurrence victorieuse que ferait l'acétylène aux autres moyens d'éclairage. Bientôt, sur le continent, 120000 chevaux de force furent utilisés à cette fabrication, ce qui représente — en comptant qu'on produit 1 tonne de carbure par cheval et par an — 120000 tonnes de carbure. Le recul fut rapide. De nombreuses explosions, dues, pour la plupart, aux défectuosités des appareils producteurs d'acétylène, furent attribuées par la presse au gaz lui-même et le discréditèrent auprès du public. Il en résulta aussi des ordonnances de police sévères qui restreignirent la diffusion de ce mode d'éclairage. Alors que pendant la première année les producteurs ne pouvaient suffire aux demandes et que les prix se maintenaient à plus de 700 fr la tonne, il se produisit, à la fin de l'année dernière, une baisse colossale. La surproduction énorme fit tomber le carbure à 250 fr la tonne et même plus bas — prix qui couvrait à peine les frais de fabrication. Il fallait maintenir le marché et remédier à un état de choses insoutenable qui aurait tôt ou tard amené la ruine de toute cette industrie. Presque toutes les fabriques allemandes, suisses, autrichiennes, norvégiennes et suédoises passèrent, en novembre dernier, une convention (*Acetylen in Wiss. u. Indust.*, 1900, p. 535) (les nombreuses fabriques françaises ont formé un syndicat spécial (*Journal de l'Electrolyse*, 1901, n° 110, p. 8). Celle-ci avait pour but de vendre les réserves de carbure de ses membres et d'autoriser une très faible production aux usines à qui leurs réserves ne permettaient pas de suspendre complètement leur fabrication. On désigna, comme seul comptoir de vente la « Deutsche Gold-und Silberscheideanstalt à Francfort-sur-le-Mein ». A mesure que la consommation s'élèverait, les usines arrêtées seraient autorisées à reprendre, les unes après les autres, leur marche, sans qu'elles puissent, dans l'intervalle, se désister de leur participation aux bénéfices obtenus (*Zeits. fur Calciumcarbidfabrik. u. Acetylen*, 1901, p. 433). Pour montrer combien la consommation de carbure a été relativement faible pendant cette dernière année, nous n'aurons qu'à citer la statistique des exportations et importations allemandes. En 1899 l'importation a été de 6374 tonnes et l'exportation de 636,3 tonnes; en 1900 on trouve 7680,7 et 224,1 tonnes.

» La mauvaise situation actuelle s'améliorerait d'un seul coup si l'on arrivait à construire une lampe portative à acétylène. C'est en effet contre le pétrole que l'acétylène doit lutter, sa lumière est plus belle et meilleur marché. Ce qui montre bien l'importance économique énorme qu'aurait une telle invention, c'est la consommation annuelle de pétrole. On brûle, par an, en Allemagne, 11 000 000 hectolitres de pétrole. Cette quantité, qui est presque entièrement importée, correspond, d'après le calcul (*Acetylen in Wiss. u. Ind.*, 1899, p. 301), à 600 000 tonnes de carbure. On étudie actuellement avec succès la question de l'utilisation des gaz pauvres des hauts fourneaux pour l'alimentation des moteurs, procédé qui permettrait à l'Allemagne de préparer presque tout le carbure nécessaire à sa consommation. La société allemande de l'acétylène s'est si bien rendu compte de l'importance de ce point, qu'elle a institué un prix de 1 000 marks pour récompenser l'inventeur d'une lampe portative réellement pratique, et cela sans imposer aucune condition quelconque. Les qualités de cette lampe doivent être les suivantes : elle doit pouvoir brûler durant six heures au moins avec une clarté minima de 20 bougies, ne donner aucun dégagement après extinction, ne pas donner d'odeur, n'être pas difficile à remplir et à nettoyer, être munie enfin d'un dispositif pour la purification de l'acétylène, permettant d'y brûler toutes les sortes de carbure. Le carbure renferme plus ou moins de phosphure de calcium et l'acétylène, en brûlant, dégage des vapeurs d'acide phosphorique. Les difficultés à vaincre sont si grandes que le prix ne sera peut-être jamais décerné.

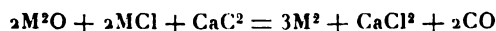
» On conçoit qu'à l'heure actuelle on soit préoccupé de chercher d'autres applications du carbure et de l'acétylène. Les résultats obtenus dans cette voie sont déjà très intéressants au point de vue chimique. »

(1) *Chem. News.*, 1898, 85, 2.

(2) *Zeits. für Elek.*, IV, 494.

(3) *Chem. Zeit.*, 1900, p. 1013.

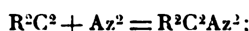
réduction au charbon pour les métaux ordinaires ; pour les métaux rares, il préfère le procédé à l'aluminium, de Goldschmidt, plus propre et plus élégant. En opposition avec Fröhlich, il trouve qu'il faut 342 kg de carbure par tonne de cuivre. Neumann admet qu'on réduit facilement par le carbure un mélange d'oxyde et de chlorure, cela d'après l'équation :



$$2M^2O + 2MCl + CaC^2 = 3M^2 + CaCl^2 + 2CO$$

En réduisant un mélange d'oxyde et de chlorure de métaux différents on obtient des alliages : Du bronze à partir de chlorure de cuivre et d'oxyde d'étain, ou d'oxyde de cuivre et de chlorure stanneux ou stannique, du laiton à partir de chlorure de cuivre et d'oxyde de zinc ou d'oxyde de cuivre et de chlorure de zinc, etc. Geelmnyden ([1]) réduit aussi les sulfures par le carbure. D'après lui on réduit ainsi la pyrite en fer et sulfure de calcium.

On devrait penser à utiliser, pour la chimie organique, le carbone du carbure. Dans ce sens, les brevets de Frank et Caro ([2]) (D. R. P. 88363, 92587, 95060, 116087 et 116088) sont d'un intérêt tout spécial. Ils reposent sur la propriété du carbure de fixer de l'azote au rouge sombre, en présence de vapeur d'eau. Ce procédé doit être exploité par la « Gold und Silberscheideanstalt ». Cette réaction s'effectue suivant l'équation :



$$R^2C^2 + Az^2 = R^2C^2Az^2 ;$$

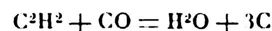
dans d'autres conditions, il se forme de la cyanamide ([3]) (D. R. P. 108 971) :



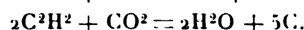
$$R^2C^2 + Az^2 = R^2CAz^2 + C$$

Un autre procédé, déjà employé dans l'industrie, est la préparation de noir de fumée à partir de l'acétylène. Ce noir d'acétylène a, sur les autres noirs de fumée, l'avantage d'être excessivement fin, complètement exempt de matières organiques, très noir et très couvrant. Il est très apprécié pour la fabrication des encres de Chine et d'imprimerie. On ne peut, cependant, le préparer dans des chambres car, vu sa légèreté et sa sécheresse, il ne dépose pas, mais envahit les ateliers.

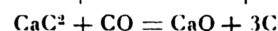
D'après le brevet D. R. P. 103 862 de L. J. E. Hubon ([1]) on comprime, à une pression de 3 à 5 atmosphères, de l'acétylène dans des récipients d'aciers timbrés à 200 atmosphères, on l'y décompose au moyen d'étincelles électriques ou d'un fil métallique chauffé électriquement. L'acétylène se décompose instantanément en charbon amorphe et hydrogène et la pression s'élève à 40 atmosphères. Frank ([2]) (D. R. P. 112 416) fait passer en tube chauffé au rouge un mélange d'oxyde de carbone ou d'acide carbonique et d'acétylène, on le traite par l'étincelle électrique. Ou bien encore il dirige, sur du carbure chauffé au rouge de l'acide carbonique ou de l'oxyde de carbone. Les réactions ont lieu suivant les équations :



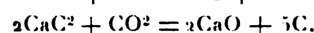
$$C^2H^2 + CO = H^2O + 3C$$



$$2C^2H^2 + CO^2 = 2H^2O + 5C.$$



$$CaC^2 + CO = CaO + 3C$$



$$2CaC^2 + CO^2 = 2CaO + 5C.$$

on gagne ainsi le carbone de CO^2 ou de CO, ce qui augmente le rendement.

Bergmann sépare le carbone de l'acétylène à l'état de graphite en le traitant par un oxydant, par exemple l'eau oxygénée. Dans ce cas l'hydrogène libéré s'oxyde en eau.

Erdmann ([3]) obtient du graphite par un autre procédé. Il a observé que le cuivre décompose catalytiquement, à 400° ou 500°, l'acétylène en ses éléments. En réglant convenablement la température, la réaction est assez lente pour que le carbone se dépose à l'état cristallin.

On a abandonné les espérances qu'on avait eues d'employer l'acétylène pour la préparation de l'alcool ou du benzène ou comme produit initial pour les colorants d'aniline. Le prix élevé de l'acétylène rend jusqu'ici ces applications impossibles. Les travaux d'Erdmann ([4]) sur la préparation de l'aldéhyde et ceux sur celle du phénol à partir de l'acétylène ont néanmoins un grand intérêt scientifique.

Il n'a non plus, naturellement, pas manqué

(1) *C. R.*, t. CXX, p. 1026.
(2) *Zeits. f. ang. Chem.*, 1896, p. 572 ; 1899, p. 45 ; 1900, p. 1276.
(3) *Zeits. f. ang. Chem.*, 1900, 145.

(1) *Ibid.*, 1899, 770.
(2) *Ibid.*, 1900, 723.
(3) *Acetylen in Wiss. u. Ind.*, 1898, p. 72.
(4) *Acetylen in Wiss. u. Ind.*, 1899, pp. 10 et 71.

d'idées absurdes, on a proposé l'emploi du carbure pour la purification des sucres, des huiles grasses, etc.

En résumé, on ne peut jusqu'ici considérer comme industrielles, à partir du carbure, que les préparations des cyanures et du noir de fumée. On peut cependant espérer, en raison de l'intérêt qui s'attache au carbure et à l'acétylène, voir surgir bientôt de nouvelles applications, ce qui serait très heureux en face de la surproduction actuelle.

Chaleurs spécifiques de l'aluminium et de ses sels solides, par **E. Baud**. *Journal de Physique*, 4e série, t. II, p. 569-573, juillet 1903.

La détermination de ces chaleurs spécifiques a été faite avec le carbonate de M. Berthelot ; la méthode de correction employée est celle indiquée par ce dernier savant. Les résultats obtenus sont les suivants :

1° *Aluminium*. — L'auteur a fait une nouvelle détermination pour ce corps, car les nombres publiés diffèrent sensiblement suivant les observateurs.

Il a employé de l'aluminium en poudre, qu'il a débarrassé des matières grasses qu'il contient par des lavages à l'éther bouillant.

Il a trouvé pour la chaleur spécifique atomique :

$$C_A = 5{,}805 \text{ entre } +15° \text{ et } +52°$$

Ce nombre concorde bien avec ceux de Tomlinson (5,90 entre o et 100°) et de M. Le Verrier (5,94 entre o et 300°).

Il est un peu inférieur à la moyenne 6,4 des chaleurs atomiques des autres corps simples.

Si l'on compare les nombres obtenus par les meilleurs observateurs aux différentes températures :

A 0°	5,447 (Pionchon)
A 0°	5,448 (Lorenz)
De 15° à 52°.	5,805 »
De 0° à 300°.	5,940 (Le Verrier)
De 300° à 530°.	8,100 »
A 550°	7,842 (Pionchon)
De 540° à 600°.	1,242 (Le Verrier).

on voit que la chaleur spécifique augmente avec la température, d'abord très lentement entre 0° et 300° ; puis de 300° à 530°, elle augmente brusquement de plus du tiers ; enfin entre 540° et 600° ; elle devient supérieure au double de sa valeur primitive.

Cette variation rapide est l'indice d'une modification moléculaire qui se produit avec absorption de chaleur, comme l'a montré M. Pionchon pour le fer, le nickel, le cobalt.

2° *Chlorure d'aluminium anhydre*. — L'auteur a trouvé pour la chaleur spécifique moléculaire $C_M = 50{,}196$. Si l'on prend pour chaleur spécifique du chlore solide, la moyenne des nombres fournis par les autres chlorures métalliques, soit 36,96 pour Cl^6, et si l'on ajoute celle de Al^2 qui est 11,61 on a pour total 48,57, nombre peu différent du résultat expérimental déterminé entre — 22° et + 15°.

3° *Chlorure d'aluminium hydraté*. — Al^2Cl^6, $12H^2O$.

$C_M = 151{,}66$, nombre un peu inférieur à celui déduit de la loi de Westyn à partir du chlorure anhydre et de l'eau solide (159,03).

4° *Chlorure d'aluminium ammonié*. — Al^2Cl^6, $12AzH^3$.

$$C_M = 188{,}400 \text{ entre } 22° \text{ et } +15°$$

Retranchons, pour le chlorure anhydre, 50,196 : il reste 138,204 pour $12AzH^3$ sol. soit 11,52 pour 1 seul AzH^3. Ce nombre n'est pas très éloigné de celui de l'eau solide : 9,07.

5° *Fluore d'aluminium anhydre* :

$$C_M = 38{,}54 \text{ entre } +15° \text{ et } +53°$$

6° *Fluore d'aluminium hydraté*. — Al^2F^6, $7H^2O$.

$$C_M = 100{,}548 \text{ entre } +15° \text{ et } +53°$$

Retranchons 63,49 correspondant à $7H^2O$, il reste :

37,058 (résultat expérimental : 38,54)

7° *Cryolithe sodique*. — Al^2F^6, 6NaF. Les deux nombres publiés pour la cryolithe : 99,96 (Kopp) et 105,924 (Œberg) différant de 5,6 p. 100 l'auteur a fait une nouvelle détermination. Il a trouvé 106,26 pour la cryolithe naturelle et 107,10 pour la cryolithe artificielle. C'est donc le nombre de Kopp qui doit être rejeté.

Afin de pouvoir comparer la chaleur spécifique du fluorure d'aluminium avec celle de la cryolithe, l'auteur a déterminé celle du fluorure de sodium anhydre.

8° *Fluorure de sodium* :

$$C_M = 11{,}235 \text{ entre } +15° \text{ et } 53°$$

Si l'on additionne les chaleurs spécifiques de Al^2F^6 et de 6NaF on trouve (38,54 + 6 × 11,235 = 105,95), ce qui concorde bien avec la mesure directe (106,26 et 107,10).

9° *Fluor solide.* — Des nombres qui précèdent on peut au moyen de la loi de Westyn, déduire la chaleur spécifique du fluor solide.

Les seuls fluorures étudiés jusqu'à présent étaient la cryolithe et le fluorure de calcium ; il était intéressant d'y ajouter des fluorures d'aluminium et de sodium.

Du nombre obtenu pour NaF on déduit pour chaleur atomique du fluor solide	4,485
Avec le fluorure d aluminium, on trouve	4,488
Et avec la cryolithe	4,545
Ce qui fait pour moyenne	4,506

De même que l'oxygène solide, le fluor solide donne donc un chiffre plus faible que celui prévu par la relation approchée de Dulong et Petit et plus faible aussi que ceux fournis par les autres halogènes.

10° *Sulfate d'alumine hydraté.* — $(SO^4)^3Al^2 + 17H^2O$.

$$C_M = 228,87 \text{ entre } +15° \text{ et } +52°$$

Retranchons 154,10 correspondant aux $17H^2O$ sol., il reste 74,77 pour le sulfate anhydre.

Ce nombre ne concorde pas avec celui trouvé par Kopp pour l'alun potassique : 351,895.

En effet, si l'on ajoute à 74,77 la chaleur spécifique du sulfate de potassium et celle de $24H^2O$ sol. on trouve 325,87 au lieu de 351,895.

L'auteur a donc fait une nouvelle détermination pour l'alun potassique.

11° *Alun potassique.* — $SO^4K^2 (SO^4)^3 Al^2 + 24H^2O$.

$$C_M = 331,026$$

Ce nombre concorde mieux avec celui trouvé par le sulfate d'alumine.

Le tableau suivant réunit les résultats des déterminations :

SUBSTANCES	TEMPÉRATURE	CHALEUR spécifique pour 1 gr.	CHALEUR spécifique moléculaire.
Aluminium en poudre (Al = 27)	+ 15° à + 52°	0,215	5,805
Chlorure d'aluminium anhydre (Al^2Cl^6 = 267)	— 22° à + 15°	0,188	50,196
Chlorure d'aluminium hydraté ($Al^2Cl^6,12H^2O$ = 483)	+ 15° à + 54°	0,314	151,66
Chlorure d'aluminium ammonié ($Al^2Cl^6,12AzH^3$ = 471)	— 22° à + 15°	0,400	188,400
Fluorure d'aluminium anhydre (Al^2F^6 = 168)	+ 15° à + 53°	0,22945	38,54
Fluorure d'aluminium hydraté ($Al^2F^6,7H^2O$ = 294)	+ 15° à + 53°	0,342	100,548
Cryolithe sodique naturelle (Al^2F^6,6NaF = 420)	+ 16° à + 55°	0,253	106,26
Cryolithe sodique artificielle	+ 16° à + 55°	0,255	107,10
Fluorure de sodium (NaF = 42)	+ 15° à + 53°	0,2675	11,235
Sulfate d'aluminium hydraté ($(SO^4)^3Al^2 + 17H^2O$ = 648)	+ 15° à + 52°	0,353	288,87
Alun potassique ($SO^4K^2 + (SO^4)^3Al^2 + 24H^2O$ = 948,5)	+ 15° à + 52°	0,349	331,026

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 29 juin 1903.

Sur les lois expérimentales du frottement de glissement, par **Henri Chaumat**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1634-1637.

« Soit S un corps solide mobile qui glisse sur un solide fixe Σ. Si les deux corps ne sont pas parfaitement polis, la réaction R exercée par Σ sur S au point de contact P des deux corps est *oblique* sur le plan tangent commun aux deux surfaces : soient N la composante de R normale à S, Φ sa composante tangentielle. On admet, d'après les travaux de Coulomb et de Morin, que Φ est directement opposée à la vitesse de glissement (vitesse de l'élément matériel P de S en contact avec Σ) et proportionnelle à N

$$\Phi = fN,$$

f désignant une constante qui ne dépend que de la rugosité des deux surfaces.

» Des expériences plus récentes semblent établir, d'une part, que f dépend, en réalité, de la vitesse v de glissement, et, d'autre part, que f, au lieu d'être constant, croît lentement avec N. Pour une valeur donnée v_0 de v, on aurait donc

$$\Phi \geqq f_0 \mathrm{N} \qquad (f_0 > 0,\ \text{constante numérique}), \qquad (1)$$

l'inégalité étant égalité pour les petites valeurs de N.

» Mais M. Painlevé a montré qu'une telle loi est en contradiction avec les équations du mouvement d'un solide, au moins dans certains cas réalisables. La contradiction résulte de ce fait que (toutes choses égales d'ailleurs) la rugosité plus ou moins grande des surfaces en contact modifie instantanément, non seulement la composante tangentielle Φ de la réaction, *mais encore la composante normale* N (sauf dans des cas très particuliers qui sont précisément ceux où se sont toujours placés les expérimentateurs).

« Je me suis proposé de reprendre à ce point de vue l'étude expérimentale du frottement de glissement. Je me suis limité exclusivement au frottement *à sec* (ou *immédiat*) de deux solides qui, seuls, semblent se prêter à des mesures vraiment précises [1]. Si l'on réfléchit au rôle de plus en plus grand que jouent dans la mécanique générale (thermodynamique, chimie, physique, etc.) ces forces retardatrices, analogues au frottement, qu'on introduit pour concilier la théorie et la réalité, peut-être trouvera-t-on quelque utilité à une étude approfondie de ce genre de forces dans le cas le plus net et le plus simple, le frottement direct de deux solides.

» Pour expliquer l'objet de mes expériences, il me faut entrer dans quelques détails théoriques. Limitons-nous, pour plus de clarté, au cas où le solide S est un disque plan qui glisse, dans un plan fixe, sur un autre disque plan immobile Σ. Par hypothèse S peut quitter Σ d'un certain côté : supposons que, à l'instant t, S glisse sur Σ, et soit P le point matériel de S en contact avec Σ, v sa vitesse (vitesse de glissement, tangente à Σ) ; soit Pt la demi-tangente commune à S et Σ menée dans le sens de v, soit Pn la demi-normale commune menée de Σ vers S (du côté, par conséquent, où S peut quitter Σ). Soient λ, μ les coordonnées du centre de gravité G de S par rapport aux axes Pt, Pn et ω la rotation instantanée de S à l'instant t (comptée positivement dans le sens tPn). Soient ρ et ρ_1 les rayons de courbure en P de S et de Σ, précédés du signe + ou — suivant qu'ils sont dirigés selon Pn ou en sens contraire.

» Enfin, soient L et (F) le couple et la force appliquée en G auxquels on peut réduire les forces *données* appliquées à S ; soient F_t, F_n les composantes de F suivant Pt, Pn, et soient M la masse de S, MK^2 son moment d'inertie autour de G. Posons

$$Q = \lambda L - K^2 F_n - MK^2 \left[\omega^2 \left(\mu + \frac{\rho\rho_1}{\rho_1 - \rho} \right) + \frac{v}{\rho_1 - \rho} (v - 2\rho_1\omega) \right].$$

» Si la quantité Q, bien déterminée à l'instant t, est négative, S quitte Σ. Si, au contraire, Q est positif, S reste en contact avec Σ ; quand les deux disques sont parfaitement polis, la réaction R_1 est normale à S et, à l'instant t, égale à $\frac{Q}{K^2 + \lambda^2}$; si les disques sont rugueux, on a, dans tous les cas, la relation

$$\mathrm{N} + \frac{\lambda\mu}{K^2 + \lambda^2} \Phi = \frac{Q}{K^2 + \lambda^2} \equiv R_1.$$

» On voit que N ne coïncide avec R_1 que quand λ ou μ est nul [1]. Sous une autre forme ($\lambda\mu$ étant $\neq 0$), si l'on injecte entre les deux disques, au point de contact P, une goutte d'huile qui annule sensiblement le frottement, la réaction N change brusquement de valeur. De plus, remarquons que le coefficient $\frac{\lambda\mu}{\lambda^2 + K^2}$ change de signe quand on renverse le sens de toutes les vitesses ; il est donc loisible de supposer, à l'instant t, ce coefficient négatif : si, en valeur absolue, il est supérieur à $\frac{1}{f_0}$ (f_0, coeffi-

(1) L'étude du frottement *médiat*, dont l'intérêt est plus grand au point de vue industriel, soulève des difficultés très diverses (influence de la couche liquide, de son épaisseur, de son homogénéité, etc.). C'est la quasi-impossibilité d'opérer dans des conditions vraiment définies et comparables qui explique, je crois, les divergences des résultats expérimentaux concernant le frottement médiat.

(1) Si S est un disque circulaire dont G est le centre, λ est nul et $\mathrm{N} = R_1$.

cient de Coulomb) la loi de Coulomb est inadmissible, ainsi d'ailleurs que l'inégalité (1). Ajoutons enfin que l'égalité (2) suppose seulement les disques S et Σ sensiblement indéformables.

» On peut réaliser des systèmes S (en bois ou en métal) qui contredisent sûrement la loi de Coulomb : il suffit que $\frac{K''+\lambda^2}{\lambda\mu}$ soit $< f_0$ (f_0 coefficient de frottement vulgaire de bois sur bois ou de métal sur métal). Il faut pour cela *allonger* le disque S et lui ajouter une masse très dense à une de ses extrémités ; on n'est limité que par les conditions de rigidité du système. Toutefois un tel appareil, outre qu'il serait coûteux, serait d'une observation très malaisée. Mais, puisque, dans des *cas extrêmes*, la loi de Coulomb est très éloignée de la vérité, il est certain que dans les cas *intermédiaires* cette loi doit être modifiée.

» Les expériences que j'ai poursuivies se résument schématiquement ainsi : un disque circulaire pesant mais *décentré* (j'entends, dont le centre géométrique n'est pas le centre de gravité) glisse sur une droite horizontale ou inclinée. Pour enregistrer le mouvement du disque, j'ai employé les méthodes et les instruments de chronophotographie de M. le Professeur Marey qui semblent pouvoir rendre à la mécanique tant de services.

» Sans entrer ici dans la discussion des expériences, je signalerai ce résultat, indépendant de toute interprétation : *Toutes choses égales d'ailleurs, le rapport* $\frac{\Phi}{N}$ *diminue quand on décentre le disque ;* autrement dit, pour la même rugosité des surfaces en contact, la même vitesse de glissement et la même réaction normale N, Φ diminue quand on accentue le décentrement du disque, c'est-à-dire quand $|N - R_1|$ augmente, R_1 désignant la réaction qui s'exercerait (dans les mêmes conditions) si les deux surfaces en contact étaient parfaitement polies. »

Sur le dichroïsme spontané des liqueurs mixtes, par **Georges Meslin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1641-1644.

Parmi les groupements de liquides et de solides cristallins qui produisent dans le champ magnétique un dichroïsme sensible [1], c'est-à-dire qui polarisent partiellement la lumière, il y en a qui présentent cette propriété à un haut degré ; en particulier le liquide mixte formé par l'association de l'alcool amylique et du chlorate de potasse. Cette liqueur modifie la composante perpendiculaire au champ plus énergiquement que la composante parallèle (d. négatif) et son acuité est telle que la proportion de lumière polarisée peut être considérable (dans une expérience, elle atteignait 90 p. 100). Une cuve contenant cette liqueur constitue alors un véritable polariseur, et l'on peut mettre ce fait en évidence par une expérience simple : on introduit en arrière de cette cuve une des lames de gypse que l'on emploie pour montrer les phénomènes de polarisation chromatique (étoile, papillon, etc.) et, en la regardant à travers un nicol, on constate que les dessins colorés apparaissent dès qu'on excite le champ ; ils persistent même quand on supprime le courant parce que, d'après l'auteur, l'orientation des lamelles cristallines subsiste quelques instants.

L'activité de certaines liqueurs a fait penser à M. Meslin qu'on pourrait avoir un dichroïsme sensible avec des champs magnétiques beaucoup plus faibles ; par exemple, avec ceux qu'on obtiendrait sans électro-aimants, avec de simples barreaux d'acier aimanté ; il en est effectivement ainsi ; si bien qu'en approchant et en éloignant de tels barreaux, on polarise plus ou moins la lumière et l'on voit apparaître et disparaître les colorations dans le polariscope employé [1].

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1060 et 1438. *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 33 et 80, 4 et 11 juillet 1903.

[1] Pour juger de la sensibilité de cette action, j'ai éloigné, dit M. Meslin, graduellement les barreaux aimantés de façon à diminuer l'intensité du champ magnétique et j'ai constaté non sans étonnement que la liqueur continuait à polariser la lumière, alors que les aimants étaient placés à plusieurs mètres de l'appareil, et même lorsqu'on les enlevait tout à fait de la pièce où l'on opérait ; la composante verticale continuait à subir une modification plus importante que la composante horizontale.

Il n'a pas semblé que le champ magnétique terrestre pût être considéré comme la cause du phénomène (et d'ailleurs on peut s'en assurer par des expériences faites dans différentes directions horizontales) et j'ai cherché quelle était l'action qui pût se manifester différemment suivant l'horizontale et la verticale pour produire ce *dichroïsme spontané*. Je crois pouvoir l'attribuer au champ de la pesanteur qui intervient pour orienter les lamelles tenues en suspension dans le liquide.

A priori on reconnaît que sous l'influence de la pesanteur et aussi sous l'influence des forces moléculaires telles que la capillarité, le frottement, la viscosité, etc.,

***Sur les phénomènes de l'antenne de la télégraphie sans fil*, par André Broca et Turchini.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1644-1646.

Les auteurs ont pu réaliser un électrodynamomètre pour courants de haute fréquence. Il se compose d'une lame d'aluminium de 30^{μ} d'épaisseur, de 1 cm de large, et de 80 cm de long, encastrée verticalement à son extrémité supérieure, et horizontalement à sa partie inférieure. L'appareil est réglé de manière que la lame ait une longue partie, à peu près verticale. De part et d'autre de celle-ci sont deux lames fixes, de 1 cm de large, réunies par une de leurs extrémités. Le courant passe dans les deux lames fixes en sens inverse, puis dans la lame mobile, qui est alors déviée. On lit cette déviation au microscope. L'appareil est étalonnable en courant continu moyennant une précaution ; la lame mobile est en effet déviée par le champ magnétique terrestre ; pour avoir la déviation électrodynamométrique, il suffit d'opérer par inversion du courant dans les lames fixes. On a ainsi le double de la déviation électrodynamométrique prise à partir du zéro déplacé par l'action terrestre.

Les lames sont placées dans un conducteur creux mis en communication avec un de leurs points seulement:

Cet appareil a permis d'étudier avec précision la variation de la résistance des métaux en fonction de la fréquence au moyen de circuits de décharge de condensateurs. Réciproquement la

---

les lamelles pourront soit tomber verticalement (c'est le cas des lamelles plongeantes) soit descendre sans qu'aucune des droites du plan de la lame soit verticale (c'est le cas des lamelles planantes). Dans le premier cas où toutes les lamelles sont parallèles à la verticale, on aura le dichroïsme négatif si le solide est plus réfringent que le liquide ; dans le second cas on reconnaît, par des considérations analogues à celles que j'ai développées antérieurement, que les lamelles parallèles au champ seront seules efficaces pour produire le dichroïsme positif ; le changement de l'ordre des réfringences du solide et du liquide entraînera encore le changement de signe du dichroïsme.

Pour vérifier cette hypothèse, relative à l'action de la pesanteur, j'ai envoyé de bas en haut un rayon lumineux qui traversait la cuve verticalement : dans ces conditions, les vibrations lumineuses s'effectuent dans un plan horizontal, c'est-à-dire perpendiculairement à la verticale et les lamelles qui, dans les deux cas, sont orientées symétriquement par rapport à la verticale, agissent de la même façon sur les deux composantes et ne produisent alors aucune polarisation du faisceau.

Le champ magnétique pourra enfin modifier ce dichroïsme spontané en le renforçant, en le diminuant ou même en changeant son signe. Le renforcement se produira, par exemple, dans le cas des lamelles à la fois planantes (parallèles aux différentes horizontales) et paramagnétiques, puisque le champ, orientant les lamelles parallèlement à sa direction, augmentera le nombre des lamelles efficaces ; l'inversion se manifestera, en particulier, pour les lamelles à la fois plongeantes et paramagnétiques, puisque par l'action du chemin horizontal elles cesseront d'être parallèles à la verticale et deviendront parallèles à l'horizontale. En tournant le commutateur, on fera donc basculer ces lamelles et l'on observera la permutation des teintes des différentes plages du polariscope, la rupture du courant les abandonnera ensuite et elles tomberont en reproduisant la première disposition de couleurs.

Cette apparence curieuse se manifeste entre autres avec l'acide borique en suspension dans l'essence de térébenthine.

Tous les autres cas de renforcement, d'affaiblissement ou d'inversion se présentent également et j'ai groupé les principaux dans le tableau suivant :

		Signe du dichroïsme	
		spontané.	magnétique.
	Carbonate de potasse et pétrole.....	+	+
	» et alcool amylique........	+	+
	Chlorate de potasse et alcool anylique	—	—
	» et alcool butylique	—	—
	» et phénol.......	+ (faible)	+
	Oxalate de potasse et phénol......	+ (faible)	+
	Acide borique et amylène......	—	+
Inversion.	» et pétrole......	+	—
Inversion.	» et chloroforme..	+	—
Inversion.	» et essence de térébenthine ...	+	—
Inversion.	» et sulfure de carbone........	+	—
Inversion.	» et benzine......	+	—
Inversion.	» et toluène......	+	—
Inversion.	» et xylène.......	+	—
Inversion.	» et cumène......	+	—
Inversion.	» et cinnamène...	+	—

Toutes ces liqueurs qui offrent le dichroïsme spontané sont aussi celles qui, sous l'influence du champ magnétique, sont les plus actives ; la réciproque de cette proposition est également vraie et ce tableau fournit en même temps la liste des groupements les plus énergiques au point de vue magnétique ; cette circonstance tient à ce que les conditions que je signalais antérieurement comme nécessaires à la production du dichroïsme (forme, densité, indice, etc.) y sont réalisées au plus haut degré ; il n'y manque plus que l'action directrice et la plus faible dissymétrie produite soit par le magnétisme soit par la pesanteur suffit pour faire apparaître le phénomène.

comparaison de l'échauffement d'un fil de cuivre de 0,6 mm de diamètre, placé dans un calorimètre, à la déviation de l'électrodynamomètre permet de mesurer avec précision la fréquence d'un courant quand elle est comprise dans les limites de son étalonnage.

Ces deux appareils ont été placés en série sur le trajet d'une antenne [1], formée par un câble à lumière de 5 mm de diamètre, isolé à la gutta, suspendu dans le laboratoire. On a vérifié que sa période d'oscillation était peu dépendante de sa situation par rapport aux murs ou au sol. On a ainsi obtenu les chiffres suivants :

Antenne de 90 m	. . . . .	600 000 à la seconde
» 56 m	. . . . .	1 000 000 »

Pour les antennes plus courtes, on a eu des résultats paradoxaux dus peut-être à ce que les appareils eux-mêmes faussent les phénomènes.

L'antenne de 90 m donne une longueur d'onde de 500 m, alors que, par la théorie admise, on en attend une de 360. L'antenne de 56 m donne une longueur d'onde de 300 m au lieu de 240 m attendus. Cela tient probablement à l'existence de la perturbation aux extrémités, bien connue dans les phénomènes de Hertz. Ces résultats sont indépendants de la longueur d'étincelle.

Dans ces expériences, l'électrodynamomètre présente des déviations dissymétriques par rapport au zéro quand on inverse le courant dans les lames fixes. *Le point moyen ne change pas soit en changeant ses connexions avec l'antenne, soit en changeant la polarité de celle-ci, ou en changeant le sens du courant dans la lame mobile.*

« Cette dissymétrie n'est donc due, disent les auteurs, ni à une action électrodynamique, ni à une action électromagnétique ; elle est due à la différence de potentiel de marche entre les lames fixes et le point de la lame mobile sur lequel elles agissent ; en effet, à cause de la dissymétrie inévitable de l'appareil, celui-ci fonctionne comme électromètre idiostatique. Nous avons vérifié le fait et étalonné l'appareil fonctionnant dans ces conditions au moyen d'un transformateur à 170 volts ; nous avons alors pu comparer la valeur de cet effet pour des décharges de même fréquence et de même intensité, c'est-à-dire donnant respectivement les mêmes déviations à l'électrodynamomètre et au calorimètre. Dans ces conditions, nous avons vu que pour une intensité efficace de 0,7 ampère et une fréquence de 1 200 000 environ, la différence de potentiel de marche le long du fil de cuivre de 1,60 m de long et de 2 mm de diamètre qui établit les connexions entre les lames de l'électrodynamomètre était de 150 volts environ pour le circuit de décharge du condensateur, de 400 volts environ pour l'antenne.

» Nous avons ensuite vérifié la loi suivante :

» *Malgré la variation considérable du courant le long de l'antenne, cette différence de potentiel est sensiblement constante tout le long de l'antenne ; donc la répartition des potentiels le long de l'antenne est sensiblement linéaire*, au moins sur les trois quarts de l'antenne.

» Dans le cas de décharge de condensateur, les lois ordinaires de l'induction lente sont applicables, la force électrique est tangentielle comme le montre le fait que les circuits ne se couvrent jamais d'aigrettes et celui que les périodes calculées par la formule de Thomson sont exactes ; au contraire, dans le cas de vibrations excitées dans un fil, il y a des nœuds et des ventres d'intensité et de potentiel, la force électrique est normale au conducteur, comme l'a montré Gutton, comme on le voit par l'expérience simple de la formation des aigrettes. Dans ces conditions, il y a aussi un rayonnement considérable d'énergie. L'énergie correspondant à la différence de potentiel que nous venons de définir est certainement l'origine de ce rayonnement, on peut appeler celle-ci *force électromotrice de rayonnement*. Elle dépend de l'intensité du courant suivant une loi complexe que nous étudions en ce moment. »

[1] Pour éliminer l'effet des variations de l'intensité du courant le long de l'antenne, on laisse immobiles les connexions des deux appareils entre eux, et l'on inverse les communications de l'ensemble avec l'antenne d'une part et l'étincelle de l'autre ; on voit alors que les indications des deux instruments varient en sens inverse ; les moyennes de leurs indications correspondent aux indications qu'ils auraient respectivement s'ils étaient placés simultanément au point moyen. Les auteurs ont vérifié d'ailleurs que cette approximation était permise en déplaçant l'électrodynamomètre le long de l'antenne. La loi de la variation du courant est d'allure simple, mais nous n'avons pu encore en déterminer soigneusement assez de points pour en donner la forme mathématique.

Cohésion diélectrique des gaz et température, par **E. Bouty**, *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1646-1649.

Pour étudier la variation de la cohésion dié-

lectrique des gaz avec la température, l'auteur a employé une étuve électrique dans laquelle sont contenus le condensateur et le ballon à gaz raréfié placé entre ses plateaux.

1. Le robinet du ballon étant fermé et, par conséquent, la masse de gaz contenu dans l'appareil étant constante, on trouve que, aux pressions supérieures à quelques millimètres de mercure, le champ critique demeure invariable pour toute température inférieure à 190°. Voici quelques exemples :

Air.

Pression à 17°. . . . . 4,270 cm

Température	Champ critique en volts par centimètre.	Excès sur la moyenne
°		
20,5	2 074	+ 2
20,5	2 071	— 1
63,5	2 062	— 10
81,0	2 088	+ 16
127,5	2 012	— 30
144,5	2 082	+ 10
164,5	2 050	— 22
167,5	2 047	— 25
Moyenne. .	2 072	

Hydrogène.

Pression à 7°. . . . . 7,103 cm

Température.	Champ critique en volts par centimètre.	Excès sur la moyenne.
°		
18,5	1 815	+ 6
18,5	1 802	— 7
64,0	1 805	— 4
117,5	1 821	+ 12
159,5	1 806	— 3
Moyenne. .	1 809	

Mélange d'oxygène et d'hydrogène (43,6 p. 100 d'hydrogène).

Pression à 17°. . . . . 7,649 cm

Température.	Champ critique en volts par centimètre.	Excès sur la moyenne.
°		
45,5	2 379	— 21
61,5	2 381	— 19
161,5	2 429	+ 29
187,5	2 412	+ 12
Moyenne. .	2 400	

De l'ensemble de toutes les mesures il résulte que la variation, si elle existe, ne peut certainement dépasser $\frac{1}{100}$ entre la température ordinaire et 190°. Ce résultat s'applique non seulement à l'air, à l'hydrogène, à l'acide carbonique, mais même aux mélanges gazeux tels que ceux d'hydrogène et d'acide carbonique ou d'hydrogène et d'oxygène pour lesquels la cohésion diélectrique, mesurée à la température ordinaire ([1]), est très sensiblement inférieure à la moyenne des cohésions diélectriques des gaz mêlés.

Ainsi l'on arrive à cette loi remarquable que *la cohésion diélectrique d'un gaz ou d'un mélange de gaz ne dépend que de la distance moyenne des molécules*, tant que la molécule ou les groupements moléculaires ne sont pas altérés. A volume constant, la cohésion diélectrique est indépendante de la température. A pression constante, elle varie en raison inverse de la température absolue.

2. On sait qu'à basse pression la différence de potentiel critique est la somme de deux termes dont l'un, indépendant de l'épaisseur de la masse gazeuse libre, dépend essentiellement de la couche gazeuse adhérente à la paroi, et devient très largement prépondérant aux très basses pressions ([2]). L'élévation de température détruisant partiellement la couche adhérente, doit, d'après les idées que l'auteur a développées ailleurs ([3]), augmenter cette différence de potentiel et, par conséquent, aussi le champ critique. C'est ce que l'expérience vérifie.

Les mesures suivantes se rapportent à l'hydrogène.

Pression en centimètres.	Température.	Champ critique.	Rapport au ch. crit. à froid.
	°		
0,03612 . . .	31,5	143	»
	182,0	188	1,315
0,00865 . . .	19,5	729	»
	194,5	895	1,227

3. Les expériences qui précèdent ont été exécutées avec un ballon formé d'un cristal qui m'avait été signalé, par M. Chabaud, pour l'excellence de son isolement.

Les expériences antérieures avaient été faites sur des ballons de verre, la conductibilité que ce verre acquiert dès une température assez peu

([1]) Voir *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 669.
([2]) Voir *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 40.
([3]) *Journal de Physique*, 4e série, t. II, p. 140.

élevée gênait les mesures. Rappelons que le champ est produit à la faveur d'une étincelle qui jaillit entre des tiges métalliques en relation avec les pôles d'une batterie de petits accumulateurs, et des godets à mercure communiquant avec les plateaux du condensateur. Entre l'instant où l'étincelle commence à jaillir et celui où, les tiges affleurant le mercure des godets, le champ atteint sa valeur maximum, il s'écoule un temps fini. Pendant cet intervalle, le verre livre passage à une certaine quantité d'électricité, appelée, par influence, à circuler à travers sa masse. Les parois du ballon ainsi électrisées en sens contraire du plateau de condensateur le plus voisin, agissent pour diminuer le champ intérieur au ballon. Pour que le champ efficace conserve une valeur invariable, il faut donc que le champ extérieur croisse dans un rapport r. Tant que l'excès de r sur l'unité ne sera pas trop grand, il demeurera sensiblement proportionnel à la conductibilité du verre et, celle-ci croissant avec la température, suivant une loi très rapide, il en sera de même de $r - 1$. C'est ce que l'expérience avait montré tout d'abord.

La température à partir de laquelle la cohésion diélectrique a paru croître d'une manière appréciable s'est montrée indépendante de la nature du gaz. Elle était de 85° pour le ballon de verre employé en premier lieu, de 135° pour un ballon de cristal de mêmes dimensions, enfin de 190° pour le ballon de cristal, de qualité exceptionnelle, auquel se rapportent toutes les mesures relatées ci-dessus.

Séance du 29 juin 1903.

Détermination de l'équivalent électrolytique de l'argent, par **Pellat et Leduc**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1649-1652.

Les déterminations les plus récentes de l'équivalent électrolytique de l'argent, dues à MM. Potier et Pellat [1], d'une part, et à MM. Paterson et Guthe [2], d'autre part, avaient conduit à une même valeur : 0,011192 C.G.S. Mais les expériences postérieures de MM. Richards, Collin et Heimrod [3] ont pu faire croire que ce nombre était trop élevé de deux millièmes environ. Il était donc utile de reprendre cette détermination, et les auteurs en firent le projet dès 1900 [1].

Dans ce but, M. Leduc [2] a étudié au préalable l'électrolyse de l'azotate d'argent, examiné les diverses causes qui influent sur la masse du dépôt cathodique, et fixé les conditions dans lesquelles il fallait se placer pour obtenir avec certitude et précision cette constante physique.

MM. Pellat et Leduc ont ensuite repris la méthode de MM. Potier et Pellat avec les modifications suivantes :

1° Le voltamètre a été constitué par une capsule hémisphérique en argent, formant cathode, ayant une surface de 300 cm^2. Elle recevait une solution normale d'azotate d'argent, neutre au méthylorange. L'anode était formée d'argent pur, cristallin, provenant d'électrolyses antérieures, contenu dans une sorte d'entonnoir renversé, et séparé du bain par une feuille de papier à filtre entre deux mousselines. La surface anodique était d'environ 50 cm^2, et le courant voisin d'un ampère, de sorte que la densité anodique était voisine de 0,002 C.G.S. ainsi qu'il convient ;

2° La durée de l'expérience a été de deux à trois heures, et la masse d'argent déposée de 8,3 gr à 12,4 gr. L'influence des diverses causes d'erreur (incertitude sur le commencement et la fin de l'expérience, période variable du courant, erreurs de pesées, lavages, etc.) se trouvait ainsi considérablement réduite ;

3° Les éléments de Daniell ont été remplacés par des accumulateurs qui ont donné, grâce à un réglage facile, un courant d'une fixité remarquable.

Le circuit comprenait un rhéostat, un interrupteur et une résistance r de 1,4 ohm environ, formée par un fil de constantan nu, plongé dans un bain de pétrole. La différence de potentiel ir aux extrémités de cette résistance était opposée à la force électromotrice d'un élément Latimer-Clark, et l'égalité constatée au moyen d'un électromètre capillaire. L'équilibre était maintenu

(1) Potier et Pellat, *Journal de Physique*, 2e série, t. IX, 1890, p. 381.

(2) *Physical Review*, t. VII, déc. 1898, n° 39.

(3) *Proceeding of the American Academie*, 1899.

(1) A. Leduc, *Rapport présenté au Congrès international de Physique à Paris*, 1900.

(2) A. Leduc, *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 23, 237 et 395. — *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 148 et 372, et t. XXXIII, p. 32. — *Journal de Physique*, 4e série, t. I, p. 561.

aisément pendant toute la durée de l'expérience en agissant à peine sur le rhéostat. La période de réglage, au début, ne durait qu'une fraction de minute, et encore le courant avait-il à peu près son intensité définitive pendant cette période.

Pour connaître en valeur absolue l'intensité du courant, les auteurs ont déterminé la force électromotrice du Latimer-Clark. A cet effet, on a substitué au voltamètre, dans le dispositif précédent, l'électrodynamomètre absolu Pellat[1], et l'on a opposé le même Latimer-Clark à la différence de potentiel IR produite aux extrémités d'une deuxième résistance R de 4,8 ohms environ, constituée exactement comme la première. L'intensité I du courant qui donne lieu à l'équilibre est ainsi voisine de 0,3 ampère.

On avait donc, en désignant par E_1 et E_2 les valeurs de la force électromotrice de ce même élément aux températures t_1 et t_2, peu différentes, d'ailleurs, des deux expériences :

$$ir = E_1, \quad IR = E_2, \quad \text{d'où} \quad i = I\frac{R}{r}\frac{E_1}{E_2}$$

Le coefficient de variation de E avec la température fut déterminé avec soin et trouvé égal à — 0,000845. Le rapport $\frac{R}{r}$ des résistances fut fourni par la moyenne d'un grand nombre de déterminations bien concordantes faites avant et après la série d'expériences, en tenant compte des erreurs de la boîte de résistances. Les coefficients de variation avec la température de R et de r furent trouvés très faibles (0,0000309 et 0,0000064).

Le temps a été mesuré au moyen d'un excellent chronomètre de Winnerl, comparé à l'horloge astronomique de la Sorbonne.

Enfin, toutes les pesées ont été corrigées de la poussée de l'air et les poids étalonnés par rapport à un gramme dont la valeur a été déterminée au Bureau international des Poids et Mesures.

Trois électrolyses ont été faites ainsi, précédées et suivies de déterminations du Latimer-Clark. En voici les résultats :

Date	Masse d'argent déposée (M) g.	Quantité d'électricité en unités C.G.S. (m).	Equivalent électrolytique $\left(\frac{M}{m}\right)$.
18 mars.	10,2879	919,16	0,011193
1er avril.	8,2663	738,37	0,011195
11 mai.	12,3970	1107,28	0,011196

Ces expériences sont, comme on le voit, très concordantes. Leur moyenne donne pour l'équivalent électrolytique de l'argent le nombre 0,011195. Eu égard à leur durée et surtout à leur régularité, il conviendrait de leur attribuer des poids croissants de la première à la dernière, ce qui élèverait légèrement la moyenne, mais ne modifierait pas le dernier chiffre conservé.

Quant à l'erreur systématique totale, elle ne paraît pas pouvoir dépasser un 1/2 millième.

On peut donc considérer comme certain que la masse d'argent déposée par un coulomb dans les conditions fixées plus haut est comprise entre 1,119 mg et 1,120 mg, conformément aux résultats rappelés au début.

Appendice. — La comparaison de la résistance R avec un ohm mercuriel, placé dans la glace fondante, a permis de déduire des déterminations précédentes la valeur absolue de la force électromotrice du Latimer-Clark employé : nous avons trouvé 1,4334 volt à 15°. Un autre élément tout semblable et construit en même temps (janvier 1900), aussi par la maison Carpentier, a donné par comparaison à la même température 1,4337 volt. Enfin deux éléments Weston ont donné respectivement 1,0167 volt et 1,0181 volt. Ces valeurs sont exprimées en volt international, dérivant de l'ohm international et de l'ohm théorique.

Sur le transport électrolytique de certains ions dans la gélatine, par **Aug. Charpentier.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1652.

Les expériences de M. J. Perrin [1] sur l'osmose électrique ont suggéré à l'auteur l'explication d'un fait singulier qu'il avait constaté depuis longtemps en étudiant l'action du courant sur la vitesse de diffusion de solutions diverses sur la gélatine. Voici ce fait et son explication :

« Des gouttes d'électrolytes, en solutions plus

(1) H. Pellat, *Comptes rendus*, t. CIII, 1886, p. 1189. *Journal de Physique*, 2e série, t. VI, 1887, p. 175.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 74, 11 juillet 1903.

ou moins concentrées, déposées sur une couche de gélatine à 10 p. 100 environ, diffusent régulièrement et peuvent donner lieu à des phénomènes variés, dont quelques-uns ont été décrits par M. S. Leduc. L'action d'un courant continu est intéressante à étudier sur ces gouttes, en déplaçant les ions positifs et négatifs avec des vitesses inégales, dans des sens opposés *et suivant la direction des lignes de force*, de sorte que, par leurs traces, généralement faciles à apprécier à la surface de la gélatine, on peut acquérir des données précises, et *sur la forme du champ* et *sur la vitesse des ions*. L'ordre de grandeur des vitesses relatives des ions, ainsi appréciées, concorde en général assez bien avec les résultats connus de Kohlrausch et autres sur la conductibilité des solutions aqueuses. Mais ce n'est pas toujours le cas, et l'ion chromique notamment (acide chromique, bichromate de potasse, etc.) se déplace sur la gélatine avec une vitesse de beaucoup supérieure à celle qui lui est attribuée dans les solutions aqueuses ; cette vitesse est telle qu'on la rapprocherait des ions H et OH. Cette anomalie très remarquable s'expliquerait si, au phénomène de conduction électrolytique, s'ajoutait une osmose électrique de même sens. Or, c'est ce que j'ai constaté en déterminant le sens dans lequel une solution faible d'acide chromique est transformée en masse à travers une cloison de gélatine par un courant électrique. Ce transport a lieu *en sens inverse du courant*, c'est-à-dire du pôle négatif au pôle positif, et avec une grande intensité. Il est à remarquer, au contraire, que l'osmose électrique de la même solution à travers une cloison argileuse (bougie Chamberland), a lieu dans le sens le plus commun, c'est-à-dire du positif au négatif. »

« On voit, ajoute M. Charpentier, que l'importance des faits étudiés par M. Perrin s'étend, comme il l'a d'ailleurs signalé, aux cloisons colloïdales de nature organique, chaque cloison se comportant d'une façon particulière vis-à-vis d'une solution donnée. On peut en conclure que des actions de cet ordre, loin d'être négligeables, comme on le croyait, dans l'électrolyse des tissus vivants, doivent y prendre une part essentielle, qu'il y aurait grand intérêt à déterminer dans les différents cas particuliers.

Production de l'ozone par les spirales à haute tension et haute fréquence, par **H. Guilleminot.** *Comptes rendus*, t. XXXVI, p. 1653-1655.

On sait que les résonateurs à haute fréquence donnent lieu à une production abondante d'ozone. Le résonateur à hélice (type Oudin) a été employé à cet effet par M. Guilleminot. Pour cela, le résonateur a été enfermé dans une cloche traversée par un courant d'air pur. D'après les expériences de M. Bordier de Lyon et d'autres expérimentateurs, ce mode de production est de beaucoup supérieur à tous les autres. Cet auteur a noté que l'effluvation sombre est beaucoup plus active que les aigrettes lumineuses.

Il y a donc, autour des résonateurs de haute fréquence, un champ particulièrement favorable à la transformation de l'oxygène en ozone. Ce champ a son maximum d'énergie vers l'extrémité du secondaire, à condition toutefois que l'on se borne à obtenir une effluvation sombre et non des aigrettes lumineuses : voilà ce qui ressort des travaux antérieurs faits sur cette question.

M. Guilleminot a constitué un ozoneur au moyen des spirales de haute fréquence, qu'il a décrits antérieurement.

Les avantages de cette forme en spirale, dit-il, sont multiples : 1° elle permet d'utiliser l'influence énorme des résonateurs les uns sur les autres pour augmenter le champ; 2° elle permet d'obtenir entre deux résonateurs une grande surface d'effluvation sombre; 3° elle donne lieu à une série de modalités dans la génération de l'effluve utile à la production de l'ozone.

Disposition des spirales pour la production de l'ozone. — Je me sers pour cela de spirales constituées par un fil de cuivre enroulé en spirale dans un seul plan de telle sorte que le fil fasse 15 ou 20 spires, le pas de l'enroulement étant progressivement croissant du centre vers la périphérie, comme je l'ai indiqué dans une note antérieure [1]. Ces spires sont fixées sur des rayons de corde. Cette forme de circuit, employée déjà dans un autre but par Riess, Hertz, Tesla, etc. se prête particulièrement à la genèse des phénomènes d'influence.

» J'ai montré que l'effluvation produite par une spirale passive, sans connexion, placée

[1] *Arch. d'Élect. médicale*; 1900.

devant une spirale active excitée par sa spire extérieure, est toute différente suivant le sens de l'enroulement : lorsque les spirales sont enroulées en sens contraire, tout se passe comme si les extrémités centrales des spires étaient, à chaque moment donné, à des potentiels égaux et de signe contraire, c'est-à-dire comme si l'effluvation de la spirale passive était de signe + quand l'effluvation de la spirale active est de signe —, et inversement; le changement de signe se produisant d'ailleurs un nombre considérable de fois par seconde, puisque la période de l'oscillation, quoique très élevée en raison de la grande capacité de nos condensateurs, est encore de l'ordre du $\frac{1}{100\,000}$ de seconde. Lorsque, au contraire, le sens de l'enroulement est le même, le signe des pôles, à chaque moment donné, est le même.

» J'ai, en outre, répété avec ce résonateur les expériences de couplage dit *bipolaire*, faites antérieurement avec le résonateur en hélice de M. Oudin (expériences Oudin-Rochefort) : quand le courant d'excitation circule en sens contraire (¹) dans les deux résonateurs, l'effluvation est bipolaire, comme cela arriverait si l'on coupait la bobine de M. d'Arsonval en son milieu lorsque l'excitation est symétrique et que l'on considère chaque moitié séparément; tandis qu'au contraire elle serait de même signe si, après cette section faite, on changeait les connexions de l'excitation dans l'un des demi-résonateurs. De même avec les spirales, lorsque la direction du courant est ou centripète, ou centrifuge dans les deux résonateurs. l'effluvation est de même signe (homopolaire); elle est de signe contraire si le courant centripète dans l'une est centrifuge dans l'autre.

» La combinaison de ces deux modes de production de la bipolarité et de l'*homopolarité*, si l'on peut employer ce mot pour désigner l'effluvation de même signe, m'a permis d'obtenir des effets d'une intensité particulièrement remarquable pour la génération des effluves utiles en Electrothéraphie. Grâce à leur forme, ces résonateurs se prêtent aussi à tous les phénomènes d'autoconduction (montage homopolaire avec 8 à 12 spires à l'excitation). Enfin, en raison de l'intensité et de l'étendue du champ, ils constituent des générateurs très puissants pour la production de l'ozone : voici comment est monté l'appareil fonctionnant comme ozoneur.

» Deux spirales sont placées face à face parallèlement. Elles sont entourées d'un imperméable souple, formant soufflet sur leur tranche, tandis que les faces extérieures sont munies d'une feuille de verre bloquée dans leur cadre, de manière à former une cage pneumatique dont les faces transparentes permettent de voir du dehors l'état de l'effluvation. On peut d'ailleurs imaginer toutes sortes de dispositifs pour faire une cage pneumatique qui permette de régler l'encadrement des spirales, de changer la face de présentation de l'une devant l'autre, de régler la self du primaire. Ce réglage se fait du reste très facilement au moyen d'une self étrangère, mise dans le circuit d'excitation (¹). Une soufflerie amène l'air dans la cage pneumatique par un orifice situé à une extrémité, tandis que l'orifice de sortie se trouve à l'extrémité diamétralement opposée.

On se trouve ainsi placé dans les meilleures conditions pour que le renouvellement des couches d'air autour des résonateurs soit continu, condition favorable au rendement de tous les ozoneurs de haute fréquence, comme l'a montré M. Bordier.

(¹) « Le mot *sens du courant* n'a pas d'autre valeur ici que de fixer dans l'esprit la manière dont on établit les connexions : nous disons que le courant va de l'armature positive du condensateur à l'armature négative, pour la commodité de l'explication. En réalité il est oscillant ».

Plaques positives d'accumulateur*, *genre Planté*, *à grande capacité, par **Vaugeois**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1655.

Les résultats suivants ont été obtenus sur des plaques positives spéciales, genre Planté, formées par une méthode sur laquelle l'auteur se propose de revenir ultérieurement.

Régime du courant de décharge en ampères par décimètre carré.	Capacité en ampères-heure par décimètre carré.	Durée de la décharge en heures.
		h m
0,02	1,24	62
0,05	1,19	23.48
0,10	1,10	11
0,15	1,03	6,51
0,20	0,96	4.48
0,25	0,89	3,53
0,30	0,82	2,44
0,35	0,74	2,7

(¹) Voir à ce sujet : *Comptes rendus du Congrès d'Électrologie et de Radiologie*, (Berne, 1902). Comm. de l'auteur.

Ces capacités peuvent être obtenues industriellement avec une grande précision. Elles ne compromettent pas la solidité mécanique des électrodes. Elles ont été réalisées sur des plaques présentant 35dm² de surface active par kilogramme.

Séance du 6 juillet 1903.

Conséquences de la théorie des aciers au nickel, par **Ch.-Ed. Guillaume**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 44-47.

La théorie des anomalies des aciers au nickel expliquée par la transformation du fer de l'état α à l'état γ ou inversement, plus ou moins modifiée dans son allure, abaissée dans l'échelle des températures, affectée ou non d'hystérèse thermique, conduit à quelques résultats intéressants.

1° L'allure anormale de la variation du module d'élasticité, observée aux températures ordinaires dans les alliages irréversibles ou réversibles, conduit à admettre qu'il se produit, dans l'une des transformations du fer pur, un renversement dans le sens du changement du module. Or, des deux transformations du fer, une seule, le passage β à γ, s'effectue avec une variation importante du volume, et, si l'on admet que les réactions élastiques à l'intérieur d'un solide sont une fonction des distances moléculaires, on sera tout naturellement amené à prévoir une variation positive importante du module dans le passage, à température ascendante, du fer β au fer γ. Certaines expériences de M. Howe, restées inexpliquées, trouvent dans cette indication leur cause naturelle ;

2° La réalité de la transformation du fer permet de préciser l'explication que M. Guillaume a donnée des résultats trouvés par MM. Nagaoka et Honda dans l'étude des variations de volume des aciers au nickel sous l'action du champ magnétique. Ces variations sont jusqu'à 50 fois plus grandes dans ces aciers que dans le fer, et que le maximum d'action du champ se produit sur les alliages d'une teneur telle que, à la température de l'expérience, ils se trouvent dans la première période de leur transformation à température descendante, caractérisée à la fois par l'apparition du magnétisme et la dilatation virtuelle, c'est-à-dire dans l'état où ils seront le plus sensibles aux causes de modification de leur équilibre.

Or, M. P. Curie a trouvé autrefois (*Thèse*, p. 90) que les courbes représentant la susceptibilité magnétique du fer pour des champs d'intensités croissantes s'écartent légèrement, sur l'axe des températures, dans la région de la chute la plus rapide du magnétisme, c'est-à-dire vers 750°. Il semble donc que le champ magnétique précipite la transformation qui fait apparaître le ferro-magnétisme. Comme, dans les aciers-nickels à haute teneur, les deux transformations se produisent simultanément, cet accroissement de l'état magnétique par l'effet d'un champ intense entraîne nécessairement une augmentation de volume à température constante.

On voit ainsi que, pour le fer isolé ou en dissolution dans du nickel, l'état actuel dépend non seulement de la température et de la pression, mais aussi du champ magnétique, qui devient ainsi un troisième facteur d'action dans l'expression de la règle des phases appliquée aux aciers ;

3° On peut se demander si d'autres alliages que les aciers-nickels possèdent des propriétés analogues.

D'abord, toutes les anomalies observées étant liées aux transformations du fer, on ne devra s'attendre à en rencontrer de semblables que dans les alliages contenant une forte proportion de ce métal. On a bien, en effet, constaté des changements de même nature, toujours irréversibles, dans les alliages du fer avec le manganèse. Mais les propriétés réversibles anormales, telles que la faible dilatabilité, n'ont pas été observées jusqu'ici ailleurs que dans les aciers-nickels. Or on sait, par les belles études de M. Ch. Maurain sur les propriétés magnétiques des couches de passage, que le fer à l'état très disséminé n'est pas sensiblement magnétique, à moins de se trouver sur un support constitué par un métal magnétique. Il en résulte que le fer très dilué dans le nickel sera magnétique ou non magnétique en même temps que son support, c'est-à-dire qu'il prendra la température de transformation du nickel.

Ainsi se trouvent levées les difficultés signalées par M. Osmond, dans l'application de la théorie de M. L. Dumas, fondée sur l'idée, appuyée de belles expériences, que les propriétés essentielles des aciers-nickels à haute teneur en nickel sont dues aux transformations de ce mé-

tal. Puisque la transformation du nickel entraîne celle du fer, les rôles des deux transformations sont nettement délimités; la première est essentielle dans la production des phénomènes observés, mais la transformation du fer engendre seule les anomalies de dilatation, d'élasticité, etc., ainsi que la presque totalité du dégagement de chaleur.

Si cette théorie est exacte, les anomalies réversibles sont le résultat nécessaire de la dissémination du fer dans un dissolvant constitué par un métal magnétique à température de transformation plus basse que celle du fer. Le nickel étant seul dans ce cas, les aciers au nickel sont seuls susceptibles de posséder les propriétés exceptionnelles qu'ils ont montrées à l'expérience.

Action de l'iode sur les pellicules de cuivre obtenues par ionoplastie, par **Houllevigue**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 47-50.

Cette action a permis à l'auteur de déterminer l'épaisseur des pellicules ionoplastiques [1]; il conclut ainsi :

« Les épaisseurs limites sont du même ordre de grandeur que les couches de passage définies à l'aide de la résistance électrique, ou par d'autres procédés. En tout cas, on peut représenter les résultats de cette étude en disant que : *La plus petite molécule de cuivre capable de réagir chimiquement sur la vapeur d'iode a des dimensions de l'ordre de* $40 \mu\mu$. *Son poids est de l'ordre de* 5×10^{-13} *milligramme.* »

Séance du 13 juillet.

Sur la mesure des coefficients de self-induction au moyen du téléphone, par **R. Dongier**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 115-118.

« I. On peut utiliser plusieurs dispositifs pour compenser le décalage provoqué sur un courant alternatif sinusoïdal de pulsation $\omega = 2\pi N$ (N étant la fréquence) par une bobine de coefficient de self-induction L.

» 1° On met en série avec le circuit de la self-induction le système compensé d'un condensateur de capacité C et d'une résistance non inductive en dérivation aux bornes du condensateur, système qui provoque une avance de phase. On arrive à compenser le retard de phase dû à la self-induction en accroissant d'une manière continue la résistance non inductive. Si r_1 est la valeur de la résistance pour laquelle la compensation est réalisée, l'expression du coefficient de self-induction est $L = \frac{Cr_1^2}{1 + C^2\omega^2 r_1^2}$.

» 2° Au lieu de réunir les bornes de la capacité avec les extrémités de la résistance non inductive, on les met en communication avec les extrémités du circuit comprenant, disposées en série, la self-induction à mesurer et la résistance non inductive. En faisant varier d'une manière continue la grandeur de cette résistance, on parvient à annuler l'inductance du système total. La relation $L = C(r_2^2 + L^2\omega^2)$ est alors satisfaite (r_2 représente la résistance de la portion du circuit comprise entre les deux bornes de la capacité).

» 3° Si l'on connaissait la fréquence du courant alternatif, chacune de ces relations pourrait servir au calcul de L, au moyen de la capacité connue C et de l'une des résistances r_1 ou r_2 déterminée expérimentalement. L'élimination de ω entre les égalités précédentes conduit à l'expression très simple

$$L = Cr_1 r_2.$$

» Cette expression, indépendante de la fréquence, permet le calcul de L en fonction de la capacité C, ainsi que des résistances r_1 et r_2, lesquelles, pour une même valeur de la fréquence, annulent l'inductance du circuit dans chacun des deux cas dont il vient d'être fait mention.

» II. On obtient la compensation en intercalant successivement chacun de ces dispositifs dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone avec alternateur et téléphone ; les autres branches du pont sont constituées par des fils métalliques tendus, associés ou non à des boîtes de résistance non inductives. L'extinction complète du son dans le téléphone dénote l'existence, dans son circuit, de deux courants sinusoïdaux, de sens inverses, présentant la même période, la *même amplitude* et le *même décalage*. Cette dernière condition, c'est-à-dire l'égalité des décalages, est réalisée si les inductances des diffé-

[1] Voir pour les résultats obtenus antérieurement par l'auteur, *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 216 et 315, 8 et 29 novembre 1902.

rentes branches du pont, en particulier l'inductance de la branche qui contient la self-induction à mesurer, sont nulles.

» Afin d'arriver systématiquement à l'extinction téléphonique, la résistance en dérivation sur le condensateur est complétée par un fil tendu le long duquel se déplace un curseur de prise de contact A ; deux autres branches consécutives du pont sont réalisées avec un même fil tendu, le long duquel peut être déplacé un curseur de prise de contact B. On amène successivement les curseurs B et A dans les positions qui correspondent au minimum d'intensité du son dans le téléphone ; le curseur B assure l'égalité des amplitudes, le curseur A celle des décalages. Ces réglages, répétés plusieurs fois dans le même ordre, conduisent à un son inappréciable à l'oreille, c'est-à-dire pratiquement nul. On s'assure qu'il en est ainsi en disposant un interrupteur avec godets de mercure dans le circuit du téléphone ; le fonctionnement de l'interrupteur ne provoque alors aucun changement dans l'audition téléphonique. Mise en pratique sous cette forme, la méthode n'exige la connaissance que de la résistance étalonnée en dérivation aux bornes du condensateur. Les résistances des autres branches du pont demeurent arbitraires et elles n'interviennent pas dans le calcul du résultat. On les choisit de manière à réaliser les conditions de sensibilité maximum.

» III. *Faibles self-inductions.* — Il n'est pas possible, même avec des fils tendus, de réaliser un point de Wheatstone où chaque branche présente une inductance nulle. Aussi, lorsqu'on se propose de mesurer de très faibles coefficients d'induction, est-il nécessaire, avant l'introduction de la self-induction et de la capacité compensatrice, d'annuler le son dans le téléphone, en rendant identiques entre elles les constantes du temps $\frac{L}{R}$ des différentes branches. On satisfait à cette condition, en mettant dans l'une des branches du pont une inductance variable, composée d'une résistance variable en dérivation sur les bornes d'un condensateur. Cette précaution une fois prise, il est certain que la capacité compense exactement la self-induction à mesurer lorsque, après leur introduction, on a annulé le son dans le téléphone.

» La précision des mesures dépend de la sensibilité du téléphone employé. Avec le téléphone ordinaire et la bobine avec trembleur-diapason qui nous a servi, à M. Lesage et à moi, dans les mesures de résistivité des liquides de l'organisme [1], j'ai pu mesurer au $\frac{1}{20}$ près des self-inductions de l'ordre de grandeur de 300 cm ou 3×10^{-7} Henry et au $\frac{1}{200}$ près, des self-inductions voisines de 2000 cm ou 2×10^{-6} Henry.

» *Moyennes et grandes self-inductions.* — Lorsqu'il s'agit de mesurer des coefficients de self-induction supérieurs à 10^{-4} Henry, on est gêné par les harmoniques qui se superposent au son fondamental fourni par le diapason-interrupteur. L'inductance de la capacité ne compense en effet celle de la self-induction que pour une valeur donnée de la période du courant alternatif. On n'obtient, avec le téléphone ordinaire qu'un minimum de son et ce minimum est d'autant moins accusé que le coefficient de self-induction à mesurer est plus considérable.

» Grâce au monotéléphone de M. Mercadier [2] j'ai pu effectuer au $\frac{1}{200}$ près des mesures de self-induction de l'ordre de 10^{-2} Henry. Cet instrument ne renforce, en effet, que les sons de période bien déterminée et reste insensible aux harmoniques provoquées par la capacité ou par les substances magnétiques contenues dans le noyau de la bobine. Il présente les mêmes avantages que le téléphone optique de M. Max Wien et pourrait être employé avec profit dans les différents dispositifs que M. Max Wien, M. Prerauer, ainsi que M. Graetz [3] ont utilisés dans la mesure des coefficients d'induction. »

[1] Dongier et Lesage, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 612 et 834 ; t. CXXXV, p. 111 et 329.

[2] *Journal de physique*, 2e série, t. VI, p. 464 ; 3e série, t. IX, p. 675.

[3] *Wied. Ann.*, 2e série, t. XLII, XLIII, L, LIII.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXVI Samedi 15 Août 1903. 10e Année. — N° 33

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR
L'EXTENSION A DES COURANTS PÉRIODIQUES QUELCONQUES
DES PROPRIÉTÉS DES COURANTS WATTÉS ET DÉWATTÉS SINUSOIDAUX

I

Pour définir les courants wattés et déwattés, on considère le courant sinusoïdal qui circule dans un circuit comme formé par la superposition de deux courants sinusoïdaux : 1° l'un de décalage nul ou d'une demi-période par rapport à la tension aux bornes du circuit, c'est le courant watté ou de travail ; 2° l'autre en quadrature avec la tension, c'est le courant déwatté ou magnétisant. Ces définitions permettent de démontrer les propositions suivantes.

I. *Les puissances moyennes du courant watté et du courant total sont égales.*

II. *La puissance moyenne du courant total est égale au produit du voltage efficace aux bornes du circuit par l'intensité efficace du courant watté.*

III. *La puissance moyenne du courant déwatté est nulle.*

IV. *Le carré de l'intensité efficace du courant total est égal à la somme des carrés des intensités efficaces des courants watté et déwatté.*

V. *Si entre deux points A et B le circuit se bifurque en plusieurs dérivations, les courants wattés et déwattés se partagent suivant le premier terme de Kirchoff.*

Nous nous proposons de généraliser ces propositions à des courants périodiques de forme quelconque.

Nous considérons d'abord comme *générale* la définition suivante du décalage en courant sinusoïdal. Le décalage du courant et du voltage est le temps qui s'écoule entre deux zéros

homologues le plus voisins du courant et du voltage; par zéros homologues, j'entends les zéros par lesquels ces deux grandeurs passent toutes les deux en croissant ou toutes les deux en décroissant; le décalage ainsi défini sera toujours compris entre zéro et la demi-période le courant sera dit en avance ou en retard sur le voltage suivant que le courant s'annulera en croissant au début ou à la fin de la durée du décalage.

En représentation graphique, si on porte en ordonnées les intensités et les voltages, en abscisses les temps, le courant est représenté par la courbe I, le voltage par V, le décalage est représenté par la distance OO', le courant est en avance sur le voltage dans le cas représenté par la figure 1.

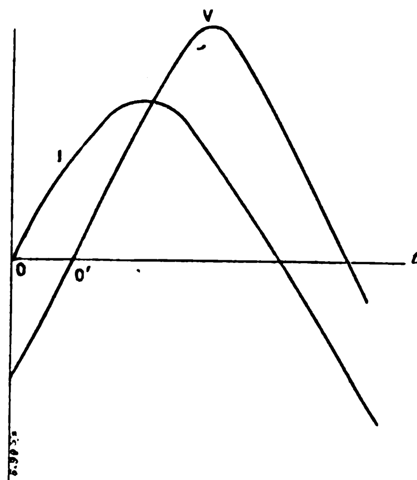


Fig. 1.

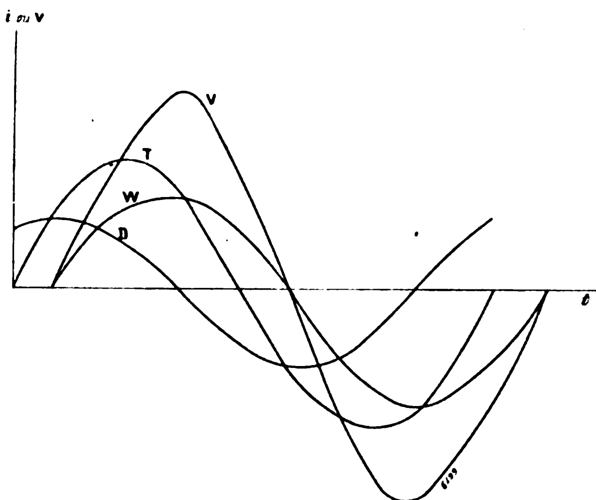


Fig. 2.

Pour généraliser la définition du courant watté, nous remarquons que si en courant sinusoïdal le voltage et le courant total sont représentés par les formules

$$V = V_0 \sin \omega t \qquad \text{et} \qquad I = I_0 \sin (\omega t + \varphi),$$

V_0 et I_0 étant les amplitudes du voltage et de l'intensité, ω la pulsation et φ la différence de phase, le courant watté est représenté par

$$i = I \cos \varphi \sin \omega t$$

et est par conséquent proportionnel à V à chaque instant; tenant compte de la proposition I nous admettrons que par définition nous considérons le courant total I comme à chaque instant formé par la superposition de deux courants partiels : 1° l'un, le courant *watté* proportionnel à chaque instant au voltage aux bornes du circuit, absorbant ou dégageant par période une puissance électrique moyenne égale à la puissance électrique moyenne absorbée ou dégagée par le courant total ; 2° l'autre le courant *déwatté* égal à chaque instant à la différence du courant total et du courant watté; sur la figure 2, W représente le courant watté, D, le courant déwatté.

Soient I, i, j, V les courants total, watté et déwatté et la tension aux bornes du circuit.

On a à chaque instant par définition

$$I = i + j \qquad (1)$$
$$i = k V \qquad (2)$$

k étant une constante.

Il résulte de (2) que i a toujours le signe de V et s'annule en même temps que V si k est positif; il a le signe contraire de V mais s'annule avec lui si k est négatif. Dans le premier cas le décalage entre le courant watté et la tension est nulle, la puissance électrique est absorbée par le circuit ; dans le deuxième cas le décalage est d'une demi-période, la puissance électrique est dégagée. Le courant watté étant nul avec le voltage, il en résulte que le courant déwatté est décalé par rapport à la tension dans le même sens que le courant total, en avance ou en retard suivant que le courant total est en avance ou en retard sur la tension.

II. La démonstration de la proposition II découle immédiatement des définitions.

Par définition la puissance moyenne absorbée pendant une période T est

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T VI\,dt; \tag{3}$$

elle est égale à la puissance moyenne absorbée par le courant watté :

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T Vi\,dt. \tag{4}$$

Les égalités (2) et (4) donnent immédiatement

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T k.V.^2\,dt = kV_e^2 \tag{5}$$

et

$$P = V_e i_e \tag{6}$$

V_e étant la tension efficace, i_e étant le courant efficace watté, on retrouve la proposition II.

L'égalité (5) détermine la valeur de k quand on se donne la puissance à transmettre et la tension efficace à appliquer aux bornes du circuit.

III. Le courant déwatté absorbe une puissance moyenne nulle ; cette proposition découle immédiatement du principe de la conservation de l'énergie et de la définition du courant watté, elle s'exprime par l'égalité

$$\frac{1}{T}\int_0^T Vj\,dt = 0 \tag{7}$$

en tenant compte de (1) la puissance moyenne du courant total peut s'écrire

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T VI\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T Vi\,dt + \frac{1}{T}\int_0^T Vj\,dt$$

en tenant compte de (4) il reste l'égalité (7).

IV. L'égalité (1) élevée au carré donne

$$I^2 = i^2 + j^2 + 2\,ij;$$

on a de même

$$\frac{1}{T}\int_0^T I^2\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt + \frac{1}{T}\int_0^T j^2\,dt + \frac{2}{T}\int_0^T ij\,dt \tag{8}$$

d'après (2) et (7)

$$\frac{1}{T}\int_0^T ij\,dt = k.\frac{1}{T}\int_0^T Vj\,dt = 0.$$

Si I_e, i_e, j_e, représentent les intensités efficaces des courants total, watté et déwatté, l'éga-

lité (8) se réduit à

$$I_e^2 = i_e^2 + j_e^2 \qquad (9)$$

d'où la proposition IV.

L'égalité (9) est susceptible de l'interprétation géométrique connue.

Si on convient de figurer les courants watté et déwatté par des vecteurs dont les longueurs sont numériquement et respectivement égales aux intensités efficaces wattée et déwattée, l'intensité efficace du courant total est numériquement égale à l'hypothénuse du triangle rectangle construit sur ces deux vecteurs.

Appelons angle de phase l'angle φ fait par le vecteur représentatif du courant watté avec celui du courant total : $i_e = I_e \cos\varphi$; la puissance dégagée dans le circuit est $P = V_e I_e \cos\varphi$; $V_e I_e$ étant la puissance apparente, $\cos\varphi$ est le facteur de puissance du segment considéré, on voit que $\cos\varphi$ *est le quotient de la puissance moyenne par la puissance apparente absorbée dans le circuit.*

V. Soit V la tension entre deux points de bifurcation de plusieurs circuits dérivés.

Soient $I_1 I_2$ ..... les courants qui s'approchent d'un point de bifurcation A et I'_1, I'_2 les courants qui s'en éloignent.

Désignons par i_1, i_2.... les courants wattés qui s'approchent et par i'_1, i'_2, les courants wattés qui s'éloignent, de ce même point et proviennent de la décomposition de I_1, I_2, I'_1, I'_2..... par j_1, j_2 les courants déwattés qui s'approchent et par j'_1, j'_2 les courants déwattés qui s'éloignent et proviennent aussi de la décomposition de $I_1 I_2$, I'_1 I'_2.

Si on compte positivement les courants qui s'approchent, négativement ceux qui s'éloignent du point de bifurcation,

je dis que l'on a à chaque instant

$$i_1 + i_2 + \ldots\ldots + i'_1 + i'_2 + \ldots\ldots = 0 \qquad (10)$$

$$j_1 + j_2 + \ldots\ldots + j'_1 + j'_2 + \ldots\ldots = 0 \qquad (11)$$

On a par définition

$$\left.\begin{array}{l} i_1 = k_1 V \\ i'_2 = k_2 V \\ \ldots\ldots \end{array}\right| (12) \qquad \left.\begin{array}{l} i'_1 = k'_1 V \\ i'_2 = k'_2 V \\ \ldots\ldots \end{array}\right| (13)$$

$k_1 k_2$... k'_1 k'_2 étant des constantes; on a de plus :

$$\left.\begin{array}{l} I_1 = i_1 + j_1 \\ I_2 = i_2 + j_2 \\ \ldots\ldots\ldots \end{array}\right| (14) \qquad \left.\begin{array}{l} I'_1 = i'_1 + j'_1 \\ I'_2 = i'_2 + j'_2 \\ \ldots\ldots\ldots \end{array}\right| (15)$$

Le premier lemme de Kirchoff donne

$$I_1 + I_2 + \ldots\ldots + I'_1 + I'_2 + \ldots\ldots = 0 \qquad (16)$$

c'est-à-dire d'après (14) et (15)

$$i_1 + i_2 + \ldots\ldots + j_1 + j_2 + \ldots\ldots + i'_1 + i'_2 + \ldots\ldots + j'_1 + j_2 + \ldots\ldots = 0. \qquad (17)$$

Si on multiplie chaque terme de (17) par V et qu'on intègre ensuite de 0 à T et divise par T, il vient :

$$\frac{1}{T}\int_0^T V i_1 dt + \ldots\ldots + \frac{1}{T}\int_0^T V j_1 dt + \ldots\ldots + \frac{1}{T}\int_0^T V i'_1 dt + \ldots\ldots + \frac{1}{T}\int_0^T V j'_1 dt + \ldots\ldots = 0 \qquad (18)$$

en tenant compte que d'après (7) les puissances moyennes des courants déwattés sont

nulles, il reste

$$\frac{1}{T}\int_0^T V i'_1 dt + \ldots + \frac{1}{T}\int_0^T V i'_1 dt + \ldots = 0; \qquad (16)$$

à cause des égalités (12) et (13), l'équation (16) devient après suppression du facteur commun V_e^2

$$k_1 + k_2 + \ldots + k'_1 + k'_2 + \ldots = 0; \qquad (17)$$

en multipliant par V les mêmes égalités (12) et (13) donnent l'équation (10).
et ce résultat transporté dans l'équation (17) fournit l'équation (11).

Le premier lemme de Kirchoff s'applique à chaque instant aux courants wattés comme aux courants déwattés qui arrivent ou s'éloignent des deux points de bifurcation entre lesquels sont jetés plusieurs circuits.

II. — Propriétés des courants symétriques. Généralisation d'un théorème de M. Boucherot.

J'appelle courants alternatifs *symétriques* des courants alternés dont la courbe des tensions en fonction du temps est formée de boucles positives et négatives identiques et symétriques, par rapport à la tension maximum ; ces courants sont définis par les équations

$$V = f(t_m + t') = f(t_m - t')$$

et

$$f(t) = f\left(t + \frac{T}{2}\right),$$

t_m étant l'instant du maximum ou du minimum de la tension, t' un temps quelconque. Les alternateurs donnent en général une courbe de tension symétrique.

De tels courants se décomposeront quelle que soit leur forme en courants watté et déwatté jouissant des propriétés démontrées au paragraphe précédent et en outre des propriétés suivantes. Les courants wattés passeront de zéro à leur maximum ou de zéro à leur minimum en un quart de période.

Le courant déwatté sera décalé d'un quart de période par rapport à la tension.

Si on compte les temps à partir d'un zéro du voltage, l'énergie absorbée ou dépensée dans un circuit pendant un quart de période par le courant watté est égale au quart de celle qui est absorbée ou dépensée dans la période entière.

Ces propriétés permettent de démontrer dans toute sa généralité le théorème de M. Boucherot sur les distributions de courants alternatifs sinusoïdaux [1].

Le théorème de M. Boucherot est le suivant :

Dans un réseau de circuits à courants alternatifs ne comportant ni collecteurs, ni commutateurs tournants, ni résistances variables pendant la période, la somme des puissances magnétisantes est nulle comme la somme des puissances réelles.

Ce théorème est démontré en courant sinusoïdal.

La puissance *réelle* de MM. Blondel et Boucherot est celle que nous avons appelée tout à l'heure puissance électrique moyenne. C'est cette définition que nous considérerons comme générale, elle est représentée en courant sinusoïdal pour un circuit de tension efficace V_e,

---

[1] Congrès d'électricité de 1900.

traversé par un courant d'intensité efficace I_e et pour un décalage φ par l'égalité.

$$P_r = V_e I_e \cos \varphi$$

ou, si i_e représente l'intensité efficace wattée, par

$$P_r = V_e i_e.$$

La puissance magnétisante du courant, d'après M. Boucherot, identique à la puissance virtuelle de M. Blondel, est représentée par l'égalité

$$P_m = V_e I_e \sin \varphi$$

Cette expression représente en réalité au facteur $\frac{1}{\omega}$ près l'énergie électrique dépensée ou récupérée dans l'aimantation ou la désaimantation par le courant déwatté quand la tension passe de zéro à son maximum ou minimum le plus voisin ou inversement, c'est-à-dire l'énergie potentielle maximum du circuit.

Le théorème de M. Boucherot s'écrit

$$\sum V_e i_e = 0 \qquad (18)$$

et

$$\sum V_e j_e = 0 \qquad (19)$$

i_e et j_e représentant les intensités efficaces, wattée et déwattée.

La somme s'étend à tous les segments du réseau, le signe de chacun des termes est positif ou négatif suivant que l'énergie est dégagée ou absorbée. L'équation (19) reste vraie lorsque l'on multiplie chacun des termes par $\frac{1}{\omega}$. Appelons *puissance magnétisante l'énergie dépensée ou récupérée dans l'aimantation ou la désaimantation par le courant déwatté quand la tension passe de zéro à son maximum ou minimum le plus voisin ou inversement.*

Avec ces définitions, le théorème de M. Boucherot devient le suivant :

Dans un réseau que l'on peut scinder en plusieurs tronçons sans induction mutuelle l'un sur l'autre parcourus par des courants symétriques et aux bornes desquels s'exerce une tension symétrique, la somme des puissances réelles dégagées est nulle comme la somme des puissances magnétisantes.

L'application du principe de la conservation de l'énergie au réseau tout entier (générateurs compris) donne à chaque instant

$$\sum VI = 0, \qquad (20)$$

V étant la tension et I le courant total à un instant quelconque dans un circuit donné : le signe Σ indiquant qu'on étend la sommation à tous les tronçons du réseau ; les produits V I seront positifs ou négatifs suivant les conventions habituelles.

On a de même en intégrant V I de o à T pour chaque tronçon

$$\sum \int_0^T VI dt = 0$$

et par conséquent

$$\sum Pr = \sum V_e i_e = 0 ; \qquad (21)$$

la somme des puissances moyennes ou réelles est nulle.

2° Comptons les temps à partir d'un zéro de la tension, conformément à la définition générale, la puissance magnétisante est représentée pour un tronçon par

$$P_m = \int_0^{\frac{T}{4}} Vjdt\,;$$

la somme des puissances magnétisantes pour le réseau tout entier est $\sum P_m$

L'énergie dépensée dans le réseau par le courant watté pendant le même quart de période est

$$W_w = \sum \int_0^{\frac{T}{4}} Vidt.$$

L'énergie dépensée par le courant total pendant ce même temps est

$$W_T = \sum \int_0^{\frac{T}{4}} VIdt;$$

le principe de la *conservation de l'énergie* donne

$$W_T = W_w + \sum P_m\,; \qquad (21)$$

d'après (18) on aura

$$W_T = 0;$$

les courants étant symétriques

$$\int_0^{\frac{T}{4}} Vidt = \frac{1}{4}\int_0^{T} Vidt$$

$$W_w = \frac{1}{4}\sum P_r\,;$$

en tenant compte de (18)

$$W_w = 0;$$

l'égalité (21) se réduit donc à

$$\sum P_m = 0.$$

c'est l'égalité (19) généralisée.

Application. — 1° La somme des puissances réelles est nulle; autrement dit, la somme des puissances électriques réelles créées par l'alternateur est égale à la somme des puissances réelles absorbées dans la distribution.

Cette dernière puissance est connue; on connaît, en effet, les puissances des appareils employés; on connaît, de même, la tension efficace employée et, par suite, la somme des intensités wattées absorbées, c'est-à-dire le courant total qui passera dans la ligne, la résistance de la ligne étant donnée, la puissance absorbée par la ligne sera connue; en somme le théorème général s'applique ici exactement de la même façon qu'en courant sinusoïdal.

2° La somme des puissances magnétisantes est nulle, car la puissance magnétisante

créée par l'alternateur est égale à la somme des puissances magnétisantes absorbées par la distribution.

Nous supposerons que *tous les appareils absorbent des courants déwattés de même forme.*

Supposons que l'on ait mesuré le facteur de puissance cos φ de chacun d'eux par le rapport de la puissance réelle absorbée à la puissance apparente, on pourra ainsi déduire l'intensité efficace déwattée prise par la distribution.

La somme de ces intensités efficaces ou l'intensité totale dans la ligne sera l'intensité efficace à fournir par l'alternateur; or, dans le cas de courants de même forme, le courant d'un appareil à un instant donné peut se déduire du courant pris par un autre appareil; en multipliant ce dernier par un facteur constant, toujours le même, on en déduit qu'il existe un même rapport constant entre l'intensité efficace déwattée et la puissance magnétisante prise par chaque appareil.

Le théorème de M. Boucherot, vrai pour les puissances magnétisantes, le restera donc pour les produits $V_e J_e$.

Le théorème général s'appliquera identiquement dans la forme même indiquée par M. Boucherot

Ce cas particulier sera, en réalité, le cas généralement présenté par la pratique; en effet, les appareils employés fonctionnent, en général, à perméabilité constante, les transformateurs et moteurs asynchrones fonctionnent à vide comme des bobines de self à perméabilité constante et, par conséquent, prennent des courants déwattés de même forme.

Le cas général serait très complexe et n'offrirait pas d'intérêt pratique.

En résumé, il est possible d'appliquer aux courants wattés et déwattés de forme quelconque les propositions générales obtenues en courant sinusoïdal.

Le théorème de M. Boucherot s'applique au cas très fréquent de courants à tension symétrique et les égalités qu'ils traduisent en courant sinusoïdal s'appliquent rigoureusement à tous les cas où les courants déwattés absorbés par les appareils ont la même forme, c'est-à-dire au cas où les appareils fonctionnent à perméabilité constante.

R. SWYNGEDAUW.
Professeur adjoint, chargé du cours de physique industrielle
à la Faculté des sciences de Lille.

FERMETURE ÉLECTRIQUE DES PORTIÈRES DE WAGON

SYSTÈME E. GIMÉ

Ce système, qui se caractérise par la combinaison avec des gâches électriques placées dans toutes les portières d'un mode de production et de distribution du courant électrique, permet :

1° De bloquer simultanément et automatiquement toutes les portières des wagons de voyageurs composant un train au premier tour de roue de la locomotive et de ne libérer ces portières qu'à l'arrêt complet.

2° De pouvoir conserver bloquées toutes les portières donnant sur la contre-voie pendant l'arrêt en gare ou un arrêt long en cours de route;

3° De pouvoir également conserver bloquées les portières des deux côtés en cas d'arrêt de peu de durée provoqué en route par une manœuvre de disque ou autre;

4° En cas d'alarme par le signal, de conserver bloquées toutes les portières pendant l'arrêt provoqué, circonstance précieuse en cas d'attentats contre les personnes, puisqu'elle ôte au criminel toute facilité de s'enfuir;

5° La mise individuelle hors du circuit d'une portière, et par suite son ouverture au moyen d'une clef spéciale dont sont pouvus certains agents du train, de façon à exercer leur contrôle et leur surveillance dans les conditions habituelles de l'exploitation.

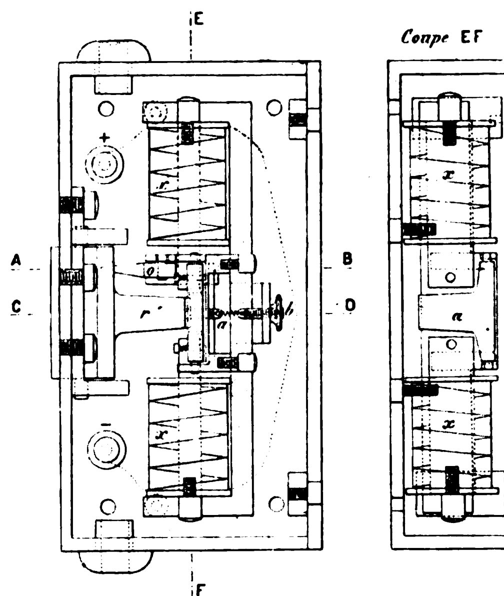


Fig. 1 et 2. — Disposition de la gâche électrique des portières.

Le dispositif réalisé par M. Gimé pour obtenir de tels résultats comprend cinq parties essentielles :

1° Une gâche électrique;

2° Un appareil producteur de courant combiné à un régulateur de vitesse également imaginé par le même inventeur.

3° Un appareil distributeur du courant;

4° Un système de mise individuelle hors circuit des portières;

5° Une douille de prise de courant servant à l'accouplement des fils des wagons successifs.

Examinons successivement le mode de fonctionnement de chacun de ces divers organes.

1° *Gâche électrique.* — Pour assurer le blocage de la gâche *r* qu'un ressort *o* tend constamment à maintenir dans sa position de fermeture (fig. 1 à 4), M. Gimé recourt au dispositif suivant qui se trouve entièrement logé à l'intérieur de chaque portière. Entre les branches d'un petit électro-aimant *xx* se trouve une pièce de fer doux *a* mobile autour de deux tourillons. Lors du passage du courant, cette pièce *a* que sollicite un ressort antagoniste, ressort dont la tension est réglée une fois pour toutes lors de la mise en place au moyen d'une vis et de l'écrou *b*, est attirée entre les pôles de l'électro-aimant, et dans cette position, s'oppose absolument à tout mouvement de la gâche *r* qui est alors bloquée.

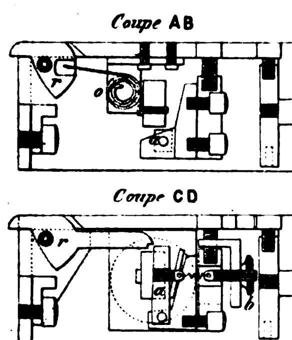


Fig. 3 et 4. — Disposition de la gâche électrique des portières.

Un pied de biche placé dans la paroi du wagon complète le système de fermeture.

2° *Appareil producteur du courant.* — Pour produire le courant nécessaire au fonctionnement du système, diverses dispositions peuvent être prises, soit que l'on ait recours à une dynamo commandée par un essieu de l'une des voitures du train, installation qui comporte l'emploi d'un régulateur de vitesse intercalé entre l'essieu moteur et la dynamo génératrice, soit que l'on fasse plus simplement usage d'une pile constante ou d'une batterie d'accumulateurs. Dans un cas comme dans l'autre, au surplus l'installation du dispositif pour la production du courant se fait dans le fourgon de tête du convoi.

3° *Appareil distributeur du courant.* — Pour distribuer le courant et amener le fonctionnement des gâches électriques en temps convenable, deux dispositions peuvent être prises.

***

Dans la première, qui est aussi la plus simple, la commande de toutes les portions se fait à l'aide d'une machine magnéto-électrique M, (fig. 5) combinée, comme nous venons de le noter, avec un régulateur de vitesse, et qui émet le courant simultanément dans toutes les gâches, assurant ainsi leur blocage, aussitôt qu'elle se met à tourner, c'est-à-dire dès le départ du train et jusqu'à son arrêt complet.

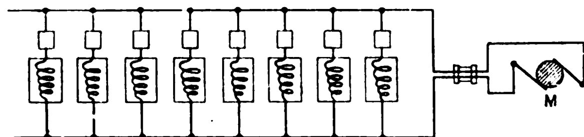


Fig. 5. — Schéma de la disposition assurant le blocage automatique des portières des trains en marche.

Dans ce cas, le blocage des portières est absolument automatique et échappe à toute intervention des agents du train.

Pour simple qu'elle soit, cependant, cette solution n'a point paru satisfaisante. Il est à remarquer en effet, qu'elle ne répond qu'en partie aux données du problème à résoudre, car, si elle assure de façon parfaite le blocage des portières tant que le train est en route, elle les libère toutes immédiatement aux moindres arrêts, aussi bien celles ouvrant sur la contre-voie que les autres.

Pour ces raisons, pratiquement, il convient de recourir au second dispositif imaginé par M. Gimé, dispositif qui comporte l'intervention de l'employé en station dans le fourgon renfermant les appareils.

Le fonctionnement du système est du reste toujours d'une grande simplicité.

En II' (fig. 6) se trouve un conjoncteur-disjoncteur à mercure ou de tout autre système qui lorsqu'il est fermé sous l'action du courant traversant la bobine B, établit la communication par le fil F du pôle positif avec la ligne et par le fil F' du pôle négatif avec le sol. Le fil F se sépare en deux lignes f et f' correspondant respectivement aux portières de gauche et de droite des wagons. Quant au retour du courant, il se fait par la terre, et la communication avec le sol est efficacement constituée par les roues des voitures en contact avec les rails. Dautre part, le fil F communique encore avec le sol par la dérivation D sur laquelle est intercalée une batterie d'accumulateurs P de résistance convenable. Enfin, sur les deux lignes f et f' sont placés deux interrupteurs i et i' permettant à volonté d'arrêter le passage du courant dans toutes les deux simultanément ou dans chacune d'elles seulement.

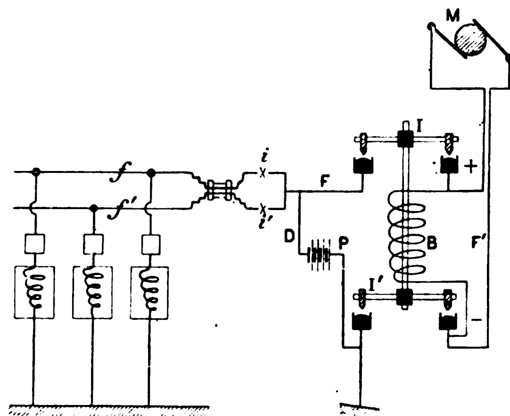


Fig. 6. — Schéma de la disposition permettant de bloquer et de débloquer à volonté les portières de trains.

Les choses étant ainsi disposées, voici comment fonctionne le système.

Avant le départ du train, fermons les deux interrupteurs i et i'. Dès que le convoi se met en route, la dynamo M entre en action et envoie un courant dans la bobine B, ce qui amène la fermeture du conjoncteur-disjoncteur II'. Le courant alors suit un double chemin, passant partie par le fil F, les interrupteurs i i' et les lignes f et f', ce qui amène le fonctionnement simultané de tous les électro-aimants et par suite le blocage instantané de toutes les portières, et partie par la dérivation D, venant ainsi charger la batterie P d'accumulateurs.

Supposons à présent un arrêt du convoi. La dynamo M cessant de tourner et partant ne produisant plus d'énergie électrique, le conjoncteur-disjoncteur II' s'ouvre, interrompant

toute communication entre le fil F et la source initiale de courant. Cette circonstance, cependant, n'amène pas le déblocage immédiat des portières, car, à ce moment, la batterie d'accumulateurs P entre en fonction et se déchargeant par les fils D et *ff'* fournit un courant qui assure le fonctionnement de toutes les gâches électriques.

Cette disposition, comme l'on voit, permet de satisfaire à toutes les exigences possibles, puisque, grâce à elle, l'on dispose de toutes facilités, simplement par la manœuvre du commutateur commandant les interrupteurs *ii'*, pour garder bloquées toutes les portières durant la marche, pour les conserver encore bloquées aux arrêts longs et courts, pour les libérer toutes simultanément en cas de besoin, ou encore pour ne libérer uniquement que celles opposées à la contre-voie.

4° *La mise hors circuit individuelle des portières.* — S'il est de première importance pour la sécurité générale qu'en cours de route les portières ne puissent s'ouvrir soit accidentellement, soit du fait de la volonté d'un voyageur, il est aussi tout à fait nécessaire, pour les besoins du service, que les employés du train puissent à l'occasion débloquer une portière quelconque.

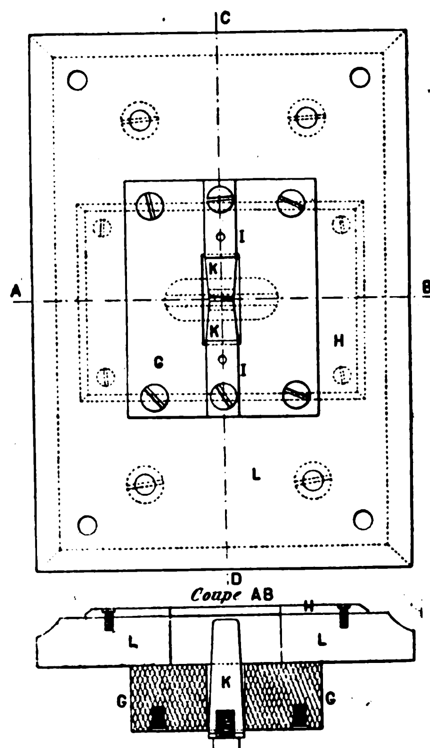


Fig. 7 et 8. — Dispositif permettant l'ouverture isolée d'une portière bloquée.

Pour répondre à cette nécessité, M. Gimé a réalisé un dispositif spécial, simple et ingénieux à la fois, dispositif placé en dehors du compartiment et combiné de telle sorte que les voyageurs ne le puissent jamais faire fonctionner.

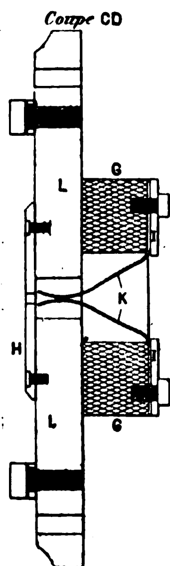


Fig. 9. — Dispositif permettant l'ouverture isolée d'une portière bloquée.

Deux lames élastiques conductrices KK (fig. 7 à 9), intercalées au moyen des plaques II dans la dérivation de chaque portière, mettent en relation les bobines de l'électro-aimant avec le fil de la ligne amenant le courant. Ce dispositif est fixé au moyen de tasseaux G sur la face postérieure d'une tablette L encastrée dans le panneau du wagon.

La tablette L présente une ouverture dans laquelle se fait le contact des lames flexibles KK, et cette ouverture est recouverte par une plaque H, munie d'une simple fente destinée à donner accès à une clef spéciale (fig. 10 et 11) formée d'une substance isolante, en ébonite ou autre.

En pénétrant entre les lames KK, qu'elle écarte l'une de l'autre, cette clef interrompt le passage du courant et instantanément libère la gâche de la portière.

Naturellement, pour éviter des fraudes possibles avec une clef constituée, comme celle figurant sur notre dessin, par une simple palette N enchâssée dans une partie un peu plus épaisse M servant à la manier facilement, l'on fera usage, dans la pratique, d'une clef spéciale à dessin compliquée de telle façon que l'on voudra.

5° *Douille de prise de courant.* — De toute nécessité, avec un système combiné comme nous venons de le décrire, il importe essentiellement pour que le blocage de toutes les

portières d'un train soit convenablement assuré qu'il y ait un système d'intercommunication assurant à la fois un contact parfait entre les fils des wagons successifs et garantissant de façon certaine contre l'inversion du courant sur les deux lignes des portières opposées.

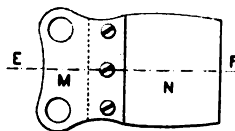


Fig. 10.
Clef d'ouverture.

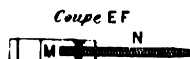


Fig. 11.
Clef d'ouverture.

Pour répondre à cette nécessité, M. Gimé a imaginé une douille de prise de courant donnant une complète sécurité dans la communication entre les différentes voitures.

Ce dispositif comprend deux parties X et Y (12 et 13), dont la première est fixée à l'extrémité des fils d'un wagon et la seconde à celle des fils de la pièce de raccord servant à réunir les lignes des deux wagons successifs. Un emmanchement à baïonnette dont l'un des arrêts est plus fort que l'autre, sert à fixer les deux pièces l'une à l'autre, en même temps qu'il empêche par sa disposition particulière de jamais pouvoir inverser le sens du courant à l'accrochage. Ce joint est de plus consolidé par un écrou E enfilé sur la pièce Y et maintenu entre les arrêts Z et le chapeau Q, qui, se vissant sur la partie filetée V de la pièce X, fixe ainsi les arrêts Z au fond de leur logement.

Quant aux communications électriques, elles sont assurées de la façon suivante. Dans la pièce X, les fils sont placés sous des écrous *e* vissés sur les vis *w'* qui communiquent avec des ressorts *u* agissant sur des pièces également conductrices *m*.

Dans la pièce Y, les extrémités des fils qui y aboutissent sont pareillement serrées entre des vis *w'* que protège un couvercle Q, et des pièces métalliques *q*.

Les choses étant de la sorte disposées, quand les pièces X et Y sont assemblées, le contact s'établit entre les pièces *m* et *q* d'une manière parfaite et la communication entre les fils des deux wagons est assurée par la succession des pièces *e*, *u*, *m*, *q*, *w'*.

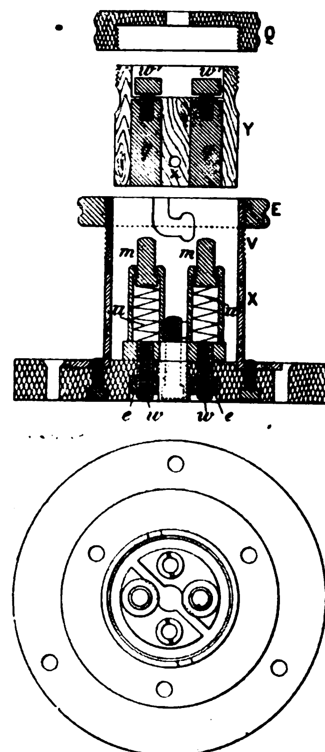


Fig. 12 et 13.— Douille de prise de courant.

Tel est en ses dispositions essentielles le système de blocage des portières de chemins de fer combiné par M. Gimé, système répondant exactement à tous les besoins pratiques, puisqu'il assure la fermeture absolue de toutes les portières durant la marche, et qu'il permet aux arrêts, suivant les nécessités du moment, ou d'ouvrir toutes les portières, ou de les maintenir toutes fermées, ou encore de garder closes seulement celles de droite ou de gauche, tout en libérant celles du côté opposé.

Quant au fonctionnement du système, quoique n'étant pas automatique et nécessitant l'intervention d'un employé, il ne laisse pas d'offrir en raison de son extrême simplicité, une complète sécurité. Au surplus, par mesure de précaution supplémentaire, il est à remarquer que rien n'est plus aisé de combiner dans le fourgon de tête un dispositif spécial, chargé de rappeler à l'employé de garde, au cas possible de négligence, la manœuvre qu'il doit accomplir. Pour cela, il suffit en effet d'installer une sonnerie fonctionnant dès que le train se met en marche si on a oublié de fermer le circuit sur les portières et d'établir parallèlement une autre sonnerie disposée pour entrer en branle aussitôt l'arrêt jusqu'au déblocage opéré.

En semblables conditions, on le conçoit sans peine, le système du blocage Gimé offre le maximum de sécurité désirable.

Dans le cas d'accident survenant au système, le pire qu'il puisse arriver est en somme de laisser les portières débloquées, c'est-à-dire en fin de compte, de remettre momentanément les choses en l'état précis ou elles sont aujourd'hui, puisque les procédés de fermeture actuellement en usage subsistent sans modifications.

Georges Vitoux.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Au sujet du vieillissement des tôles allemandes, par **G. Stern**. *Elektrotechnische Zeitschrift,* t. XXIV, n° 22, p. 407 à 412, 28 mai 1893.

Partridge et Mordey établirent simultanément en 1894 que les pertes dans le fer des transformateurs augmentent quand ils ont fonctionné pendant longtemps. Mordey prétendit d'après ses observations que la cause devait être attribuée à l'élévation de température, et non aux renversements de l'aimantation ; que le phénomène ne se produisait pas quand la température ne dépassait que de quelques degrés la température ordinaire et que l'on pouvait ramener le fer à l'état primitif en le portant au rouge. De nombreuses discussions ont eu lieu à ce sujet, c'est ce qui a amené l'auteur à entreprendre dans les ateliers de la société l'Union, de 1897 à 1902, une série d'essais avec l'aide de MM. Danz et Krauss.

Les premiers essais ont eu lieu sur des tôles des laminoirs B et C ; ils ont commencé respectivement en août et en novembre 1897 et furent poursuivis jusqu'en 1899. Comme ce sont les seules séries d'essais dans lesquels on ait observé la variation de la perméabilité, M. Stern donne des détails circonstanciés.

Les essais ont porté sur sept anneaux, constitués de 32 tôles de 0,35 mm d'épaisseur. Chaque anneau était muni de deux enroulements comme cela est nécessaire pour les mesures balistiques. Ces enroulements étaient proportionnés de manière à pouvoir exciter les anneaux avec du courant alternatif à 52 volts, fréquence 125, de telle sorte que l'induction fût 8000 environ. Les anneaux 1 B, 4 B, 6 C, ont été soumis à une température sèche d'environ 100° ; les anneaux 2 B, 3 B, 5 C ont été soumis à du courant alternatif et chargés au moyen d'une lampe à incandescence, de sorte que la température moyenne de ces anneaux atteignait 45°. L'anneau 7 B fut conservé à la température du local comme contrôle.

De temps à autre on relevait sur tous les anneaux les courbes de magnétisation et les boucles d'hystérésis. Les résultats des observations sont donnés dans le tableau n° I et par les courbes des figures 1 et 2. La courbe 1 se rapporte à un anneau chauffé à 100°. Les pertes par hystérésis sont caractérisées par le coefficient η de Steinmetz, qui n'est pas une constante, mais présente un maximum pour $\mathfrak{B}$ compris entre 7000 et 9000.

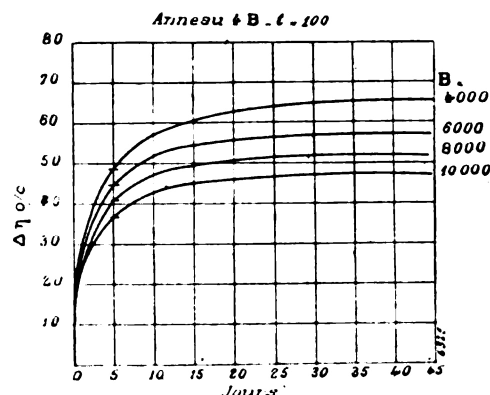


Fig. 1.

La variation en pour cent de η est également différente pour des inductions différentes (fig. 1), η varie moins pour des inductions élevées que pour de faibles inductions. Ces différences sont d'autant plus grandes que la tôle a plus de tendance au vieillissement. La tôle 4 B vieillit le

Tableau I

(1897)

Anneau n°	t	$\mathfrak{B}_{max}$	$\eta\ 10^5$	AT	$\eta\ 10^5$	AT	$\eta\ 10^5$	AT	$\eta\ 10^5$	AT	$\eta\ 10^5$	AT
					Après 36 jours.		Après 60 jours.		Après 87 jours.			
1 B	100°	12 000	166	5	229	5,9	237	6,28	250	6,6		
		10 000	160	2,98	221	3,8	232	4,87	241	5,14		
		8 000	157	2,02	221	2,68	232	2,8	241	2,83		
		6 000	159	1,48	229	2,02	239	2,12	251,5	2,19		
					Après 455 heures.		Après 710 heures.		Après 1024 heures.		Après 17 mois.	
2 B	45°	12 000	163	5,38	168	5,5	177	5,65	178	6,05	197	6,0
		10 000	153	3,03	158	3,12	164	3,2	166	3,38	183	3,42
		8 000	148	2,02	154	2,11	159	2,19	161	2,21	178	2,33
		6 000	147	1,46	152	1,51	158	1,56	160	1,60	177	1,72
					Après 1 1/2 mois.		Après 15 mois.					
3 B	45°	10 000	174	4,7	178	4,7	201	5,3				
		8 000	164	2,7	168	2,7	190	2,9				
		6 000	160	1,76	163	1,76	184	1,98				
		4 000	162	1,2	166	1,2	184	1,39				
					Après 5 jours.		Après 42 jours.					
4 B	100°	10 000	192	4,5	263	5,4	282	5,7				
		8 000	184	2,8	260	3,4	279	3,65				
		6 000	183	1,9	264	2,45	286	2,6				
		4 000	188	1,36	280	1,82	313	1,93				
					Après 1 1/2 mois.		Après 15 mois.					
5 C	45°	10 000	164	3,0	168	3,1	182	3,2				
		8 000	157	2,04	161	2,06	172	2,1				
		6 000	157	1,48	158	1,48	167	1,5				
		4 000	162	1,10	164	1,1	172	1,2				
					Après 5 jours.		Après 42 jours.					
6 C	100°	10 000	158	2,8	181	3,18	204	3,45				
		8 000	151	1,9	174	2,18	197	2,38				
		6 000	150	1,4	173	1,57	198	1,70				
		4 000	156	1,09	183	1,20	211	1,30				
					Après 2 mois.		Après 17 mois.					
7 B	20°	10 000	178	3,12	186	»	198	3,30				
		8 000	175	2,15	177	»	197	2,38				
		6 000	179	1,6	179	»	200	1,86				

plus ; pour $\mathfrak{B} = 6\,000$ l'augmentation après 40 jours atteint 56 p. 100; pour l'anneau 1 B, elle atteint 45 p. 100 et pour l'anneau 6 C seulement 31 p. 100. Le fer de la fabrication C se montra alors (en 1897) au point de vue du vieillissement supérieur à celui de la fabrication B. Le premier ne montra qu'une augmentation de pertes de 8 p. 100, tandis que pour les anneaux 2 B et 3 B elle atteint respectivement 21 p. 100 et 15 p. 100.

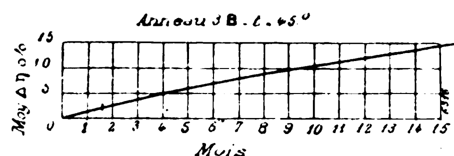


Fig. 2.

Au fur et à mesure de l'augmentation des pertes par hystérésis, la perméabilité naturellement baisse. Dans les colonnes AT (tableau 1) sont indiqués les ampèretours par centimètre qui ont été nécessaires pour obtenir $\mathfrak{B}$ de 4 000 à 12 000.

Pour le meilleur anneau 6 C avec $\mathfrak{B} = 6\,000$, les ampèretours passent de 1,09 à 1,03, c'est-à-dire augmentent de 22 p. 100 en 42 jours, tandis que pour le fer 4 B vieillissant le plus, pour la même induction et la même durée, l'augmentation est de 45 p. 100. A l'origine l'essai des anneaux avait pour but de vérifier les assertions de Mordey et de Blathy qui prétendaient que les renversements de magnétisation n'ont aucune influence sur le vieillissement qui se manifeste à haute température sans renversements. D'après cela, M. Stern s'attendait à voir les anneaux 1, 4, 6, vieillir fortement (comme cela a du reste eu lieu) et les anneaux 2, 3 et 5 ne pas subir de changement puisqu'ils n'étaient chauffés qu'à 45°.

M. Stern considère que la question de l'influence du renversement du magnétisme n'est pas encore résolue ; il est certain que l'élévation de température toute seule peut entraîner le vieillissement, mais on n'a pas encore fait d'essai concluant, pour savoir si un fer se comporte identiquement quand la même température est due à une source extérieure ou au travail d'aimantation. Diverses circonstances semblent indiquer qu'un fer chauffé et en même temps soumis à des renversements de magnétisme, vieillit moins qu'un fer amené à la même température sans renversement de magnétisation.

Les anneaux 2, 3, 5, contrairement aux présomptions, manifestèrent un vieillissement, quoique dans des proportions moindres que les autres. Après 15 à 17 mois les pertes par hystérésis avaient augmenté de 20 p. 100 pour l'anneau 2, de 15 p. 100 pour l'anneau 3 et de 8,5 p. 100 pour l'anneau 5. L'augmentation de η était à peu près la même quelle que fût la valeur de $\mathfrak{B}$ dans les anneaux 2 B et 3 B ; pour l'anneau 5 C, contrairement à ce qui s'était passé pour les anneaux chauffés à 100°, l'augmentation était d'autant plus grande que la valeur de $\mathfrak{B}$ était plus élevée. La diminution de la perméabilité était étonnemment faible dans cet anneau. Les mesures sur l'anneau 7 B, qui devait servir de contrôle, ont donné lieu à des constatations surprenantes.

Cet anneau n'était exposé qu'aux variations de température qui se manifestent dans un laboratoire d'une fabrique où la température maximum peut atteindre + 30° C. et descendre à quelques degrés au-dessous de zéro, le dimanche quand les salles ne sont pas chauffées à la vapeur. Au bout de 2 mois il se manifesta déjà une légère variation de la perméabilité et de la valeur de η ; cette dernière était du reste si faible que l'on pouvait l'attribuer aux erreurs de mesure. La mesure après 17 mois ne laissa plus subsister aucun doute ; *on constata en moyenne une augmentation de 12 p. 100 des pertes par hystérésis* et à peu près uniforme de $\mathfrak{B} = 4\,000$ à $\mathfrak{B} = 10\,000$; la forme de la courbe de magnétisation avait également varié comme on a pu le constater sur 2 courbes relevées l'une le 22 août 1897 et l'autre le 10 février 1899 ; jusqu'à 9 ampèretours par centimètre les différences sont appréciables.

M. Stern dit qu'il a eu à plusieurs reprises l'occasion de constater le vieillissement de tôles à la température ordinaire des chambres. Deux échantillons de comparaison d'un hystérésimètre étalonnés par le professeur Ewing avaient, d'après le certificat, l'un 560, l'autre 2 180 ergs par cycle, en juillet 1897. Au mois de juillet 1898, ils furent envoyés à nouveau au professeur Ewing, et le certificat de cette date porte respectivement 680 et 2 120 ergs par cycle ; donc tandis que la mauvaise tôle n'avait pas varié, la perte dans l'autre avait augmenté de 25 p. 100.

M. Stern a procédé aussi à des essais sur des fers de comparaison d'hystérésimètre, conservés avec le plus grand soin dans de la ouate, et dont on ne se servait que très rarement, ayant d'autres étalons. Au bout d'une année, avec l'un pour lequel on avait $\eta\ 10^5 = 123$, on a constaté une augmentation de 28 p. 100 ; pour un autre avec $\eta\ 10^5 = 281$, une augmentation de 13 p. 100.

Les déterminations suivantes ont toutes été exécutées au moyen de l'hystérésimètre, en supposant $\mathfrak{B} = 4000$. Comme la force magnétisante dans l'appareil est due à un aimant permanent, cela suppose une perméabilité constante, ce qui n'est pas en réalité. Mais pour les divers échantillons, il ne s'agit que de déterminer les valeurs comparatives de η à diverses époques, et, comme les premiers essais l'avaient montré, la perméabilité diminue avec le temps, de sorte que la valeur mesurée pour η est plutôt au-dessous de la realité, c'est-à-dire que l'on déduit un vieillissement trop faible, du reste l'erreur est faible. D'un autre côté un affaiblissement de l'aimant permanent aurait été indiqué par une déviation moindre pour les tôles de contrôle ; du reste, l'affaiblissement même n'aurait aucune importance, puisque l'on compare les tôles entre elles, et que l'influence serait la même pour toutes.

Dans les tableaux suivants, les colonnes t^o indiquent la température à laquelle ont été soumis les échantillons ; η_c indique la valeur de η au commencement de l'essai, $\Delta\eta$ p. 100 est l'augmentation de η en pour cent, e l'épaisseur de la tôle en millimètres. Quand deux valeurs de η sont réunies par une accolade, cela signifie que les deux échantillons ont été prélevés sur une même plaque de tôle.

Tableau II

(1898)

Nos	Désignation de la fourniture	e	$10^5\ \eta_c$	t^o	Heures	$\Delta\eta$ p. 100	Observations
				60			
1	A	0,35	116	60	1 000	33	
2	B	0,35	144	60	1 000	40	
3	C	0,35	140	100	1 000	84	
4	B	0,35	111	100	624	81	Recuite.
5	B	0,35	131	60	624	58	Non recuite.
6	C	0,35	192	60	1 420	51	
7	C	0,35	127	60	1 420	38,6	
8	C	0,35	76	60	1 420	27,7	
9	B	0,35	232	60	1 420	71	
10	B	0,35	130	60	1 420	93	
11	B	0,35	97	70-80	1 420	76	
12	Anglaise I	0,35	152	70-80	1 900	0	Non recuite.
13	»	0,35	121	70-80	1 900	0	Recuite.
14	Anglaise II	0,35	134	70-80	1 900	0	Non recuite.
15	»	0,35	119	70-80	1 900	0	Recuite.

D'après le tableau II, on voit qu'à cette époque on fabriquait en Angleterre des tôles qui, à une température de 75° ne vieillissaient pas, tandis qu'avec les tôles allemandes à 60° on constatait une augmentation de 28 à 93 p. 100.

Les échantillons 4, 13, 15 furent légèrement recuits afin de faire disparaître le durcissement qu'aurait soi-disant amené l'estampage ; en effet, les valeurs de η_c sont plus faibles que celles des échantillons 5, 12, 14, prélevés sur les mêmes plaques de tôle.

Tandis que le recuit n'avait en rien nui aux tôles anglaises, pour les tôles B allemandes, l'augmentation est plus rapide pour les tôles recuites que pour les autres. La valeur finale pour B4 est $0{,}00111 \times 1{,}81 = 0{,}00201$ et celle pour B5 $0{,}00131 \times 1{,}58 = 0{,}00207$; ceci montre que l'avantage du recuit n'est qu'apparent puisque les valeurs finales de la perte par hystérésis sont à peu près les mêmes.

Pour les échantillons 6 à 8 et 9 à 11 des deux sortes B et C, on a pris exprès des tôles avec des valeurs très différentes au commencement ; pour les tôles C la meilleure vieillit le moins tandis que pour les tôles B l'inverse se produit.

La figure 3 montre la variation de $\Delta\eta$ p. 100

pour les échantillons 1, 2, 3 ; on voit que l'augmentation de η va en croissant considérablement. En même temps que ces échantillons, on a essayé une tôle d'une fabrique allemande dont on n'a pu obtenir d'autre échantillon. Plus tard, à 60°, les échantillons (voir courbe X) n'ont montré qu'une augmentation de 4,5 p. 100 après 1 000 heures et l'essai poussé jusqu'à 1 780 heures a montré que η ne croissait plus.

Les échantillons 4 à 11 se sont comportés d'une manière analogue à celle des échantillons 1 à 3.

Tableau III

(1899)

Nos	Désignation de la fourniture	e	$10^5\,\eta_0$	t^0	Heures	$\Delta\,\eta$ p. 100	
16	A	0,35	112	75	1 000	9	
17	A	0,63	119	75	1 000	79	
18	A	0,35	113	75	1 000	4,5	
19	C	0,35	134	75	1 000	58	
20	C	0,63	137	75	1 000	47,5	
21	C	0,63	146	75	1 000	61	
22	C	0,35	130	75	1 000	62	
23	B	0,63	115	75	1 000	31	
24	B	0,35	130	75	1 000	20	
25	B	0,35	133	75	1 000	4,5	
26	B	0,63	114	75	1 000	20	
27	D	0,63	136	75	1 000	31	

Le tableau n° III se rapporte à des échantillons livrés en 1899 par 4 laminoirs. Comme tous les échantillons essayés cette année-là ont été soumis au moins pendant 1 000 heures à la température (75°), on peut comparer les tôles des divers fournisseurs et les tôles de diverses épaisseurs. On soumit à l'essai 6 échantillons de 0,63 et 6 échantillons de 0,35 mm d'épaisseur.

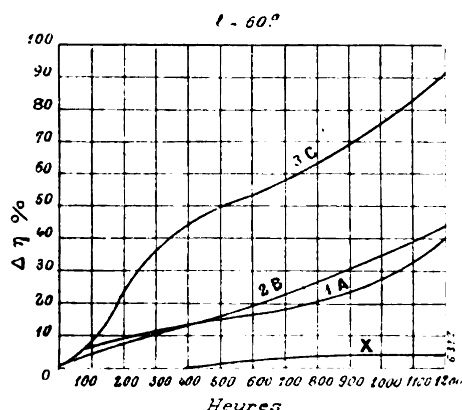


Fig. 3.

La valeur moyenne de l'augmentation des tôles de 0,63 est de 44,9 p. 100, celle des tôles de 0,35, de 26,3 p. 100, celle pour toutes les tôles, de 35,6 p. 100. On voit donc que les tôles minces vieillissent considérablement moins que les épaisses.

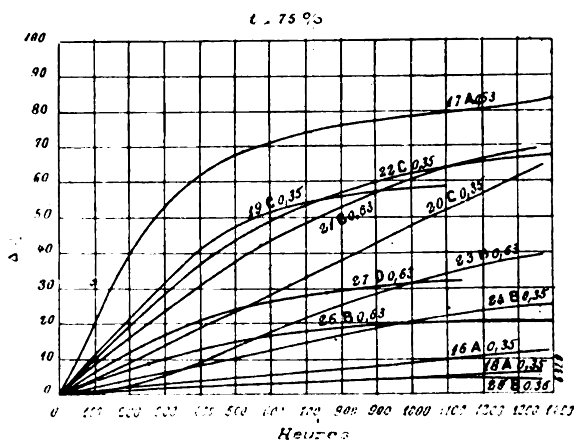


Fig. 4.

Parmi les tôles minces, celles de la fourniture A vieillissent le moins avec en moyenne 6,8 p. 100 ; puis vient la fourniture B avec 12,3 p. 100 ; la plus mauvaise fourniture donne 60 p. 100.

L'ordre est pour les tôles épaisses : B (en moyenne 25,5 p. 100) ; D (31 p. 100) ; C (54,3 p. 100 et A (79 p. 100).

Cette année-là, les tôles les meilleures ont donc été celles de la fourniture B.

La figure 4 donne les variations de $\Delta\eta$ p. 100 de tous les échantillons, on remarque que pour les tôles vieillissant fortement η p. 100 croît d'abord fortement, puis ensuite tend lentement à atteindre une valeur limite.

Pour la tôle 20 C au contraire, l'augmentation est uniforme (jusqu'à 1 350 heures).

Le tableau IV donne les résultats des essais en 1900 ; on a procédé de nouveau à des recuits après estampage.

Tous les échantillons d'une même fabrication ont été prélevés sur une même feuille de tôle. Chaque échantillon pour l'appareil Ewing était constitué par 9 feuilles (0,35 mm) de $3 \times \frac{5}{8}$ de

Tableau IV

(1902)

Nos	DÉSIGNATION de la fourniture.	e	$10^6 \eta_c$.	t^o	HEURES	$\Delta\eta$ p. 100.	OBSERVATIONS
28	A	0,35	136	85	200	57,4	Recuit et refroidi lentement.
29	A	0,35	154	85	200	36,4	Recuit et trempé.
30	A	0,35	145	85	200	31,9	Non recuit.
31	B	0,35	126	85	200	26,2	Recuit et refroidi lentement.
32	B	0,35	144	85	200	11,8	Recuit et trempé.
33	B	0,35	132	85	300	15,2	Non recuit.
34	C	0,35	197	85	200	86	Recuit et refroidi lentement.
35	C	0,35	193	85	200	37,8	Recuit et trempé.
36	C	0,35	199	85	200	53,2	Non recuit.
37	A	0,63	193	20	200	10,4	
38	A	0,63	190	20	200	3,7	
39	A	0,63	167	20	200	6,6	
40	A	0,63	165	20	200	9,1	
41	A	0,63	183	20	199	10,9	
42	A	0,63	164	20	199	5,5	
43	A	0,63	148	20	199	8,8	
44	A	0,35	124	20	192	25	
45	A	0,35	171	20	192	24	
46	A	0,35	128	20	192	12,5	
47	A	0,35	179	20	192	14,5	
48	A	0,35	159	20	192	14,5	
49	A	0,35	129	20	192	18,6	
50	A	0,35	132	20	192	12,9	
51	A	0,35	144	20	192	2,1	
52	B	0,63	147	20	200	3,4	
53	B	0,63	117	20	200	14,5	
54	B	0,63	137	20	200	8	
55	B	0,63	134	20	200	14,9	
56	B	0,63	127	20	200	22,8	
57	B	0,63	135	20	200	7,4	
58	B	0,63	119	20	200	14,3	
59	B	0,63	107	20	200	17,8	
60	B	0,63	94	20	200	9,6	
61	B	0,35	145	20	215	0	
62	B	0,35	146	20	215	0,7	
63	B	0,35	135	20	215	18,5	
64	B	0,35	119	20	215	2,5	
65	B	0,35	131	20	215	6,9	
66	B	0,35	110	20	191	0,9	
67	B	0,35	130	20	191	13,1	
68	B	0,35	180	20	191	3,9	
69	B	0,35	112	20	191	16,1	
70	B	0,35	91	20	191	21,4	

pouce anglais. Du milieu d'une feuille de tôle, on estampait 27 morceaux de la grandeur indiquée, à côté les uns des autres. On les groupait en 3 échantillons 1, 4, 7... 25 ensemble, 2, 5, 8... 26 ensemble et 3, 6, 9... 27 ensemble. Il en résulte que les échantillons 28 à 30 (AAA) représentent des tôles absolument identiques entre elles, qu'il en est de même des échantillons 31 à 33 (BBB) et enfin des échantillons 34 à 36 (CCC). Les échantillons 28, 29, 31, 32, 34 et 35 furent recuits, les échantillons 28, 31 et 34 refroidis lentement, tandis que les échantillons 29, 32 et 35 ont été trempés dans de l'eau à 18° C immédiatement après le recuit. Les valeurs initiales pour 29 et 32 sont plus élevées que celles des autres échantillons des mêmes feuilles ; par contre 35 présentent la plus petite valeur pour la feuille C. Ce mode d'opérer avait été adopté parce qu'il semble que d'après les mesures de Ford, il a une influence bienfaisante sur le vieillissement.

En apparence, le fait est vérifié, car les tôles trempées ont eu la moindre augmentation par vieillissement. Mais si l'on excepte la tôle C qui est évidemment de mauvaise qualité, on trouve que les valeurs finales η_F des coefficients d'hystérésis pour les tôles recuites sont à peu près les mêmes et chaque fois plus élevées que celles des échantillons non traités (tableau V).

Tableau V

Nos	$10^5 \eta_c$	$10^5 \eta_F$
28	136	213
29	154	210
30	145	191
31	126	159
32	144	161
33	132	152

Ainsi tout traitement des tôles après estampage est un mal ; la tôle du laminoir B se manifeste encore comme la meilleure.

La même année on essaya un grand nombre d'échantillons qui étaient conservés à la température du local. Comme la durée a été comprise entre 191 et 215 jours, on peut prendre des moyennes (tableau VI).

On voit donc que les fournitures A et B au point de vue du vieillissement à froid peuvent être considérées comme équivalentes ; mais si l'on considère que les valeurs de η_{ic} sont plus élevées pour A que pour B, et que des grandes augmentations pour la tôle B ne se manifestent que pour des valeurs très faibles de η_{ic}, on voit que la fourniture B est la meilleure.

Tableau VI

($t = 20°$)

Désignation de la fourniture.	e	Moyenne ($\Delta\eta$, p. 100)	En moyenne p. 100
A	0,63	7,9	11,9
A	0,35	15,5	
B	0,63	12,5	10,3
B	0,35	8,4	

Sur les échantillons 37 à 70 on n'a déterminé que les valeurs initiales et finales de η, de sorte que l'on ne connaît pas, si le vieillissement, à froid, continue ou s'il a atteint sa valeur de régime. Quoiqu'il résulte de l'examen des tableaux I à IV, qu'avec le temps, les produits s'étaient légèrement améliorés, on ne pouvait cependant les trouver excellents.

M. Stern, après avoir correspondu avec les fournisseurs trouva que le fait du vieillissement leur était inconnu, et que l'on n'avait jamais procédé à des mesures dans ce sens. Il visita en 1900 les usines A, B et D pour tâcher de trouver l'origine du mal et son remède ; ces études qui ne peuvent être publiées, eurent un très bon résultat comme le montrent les tableaux 7 et 8, des essais de 1901 et 1902.

Si l'on examine le tableau VII, en faisant abstraction de la tôle 71 qui datait de la fin de 1900 on peut dire que le vieillissement des échantillons de 72 à 90 peut être considéré comme peu important, le recuit qui auparavant devait être considéré comme nuisible n'a plus actuellement une influence marquée. Il est intéressant de remarquer que le vieillissement à 75°, se distingue à peine de celui à la température ordinaire.

Les beaux résultats de cette année ont été troublés par l'introduction des produits de la fabrique E, essayés pour la première fois.

Cette tôle provient d'une fabrique qui était nouvellement créée, et qui n'avait encore aucune

Tableau VII

(1901)

N°s.	DÉSIGNATION de la fourniture.	e	$10^5 \eta_c$.	t^o	HEURES	$\Delta\eta$ p. 100.	OBSERVATIONS
71	A	0,35	135	70	380	52	
72	A	0,35	139	70	380	14	
73	D	0,35	135	70	380	14	
74	D	0,35	129	70	380	12	
75	A	0,5	129	20	1 080	9	
76	A	0,5	124	20	1 080	4,5	Recuit.
77	D	0,5	130	20	1 080	9	Non recuit.
78	D	0,5	124	20	1 080	4,5	Recuit.
79	D	0,5	130	75	1 000	6,1	Non recuit.
80	D	0,5	140	75	1 000	2,8	Recuit.
81	D	0,5	130	75	1 000	2,3	
82	D	0,5	137	75	1 000	1,5	
83	D	0,5	143	75	1 000	1,4	
84	D	0,5	155	75	1 000	0	
85	D	0,5	143	75	1 000	1,4	
86	D	0,5	152	75	1 000	0	
87	B	0,5	142	75	625	0	
88	B	0,5	131	20	625	5	
89	B	0,5	151	75	625	0	
90	B	0,5	131	20	625	0	
91	E	0,5	120	75	948	26,7	Du bord de la feuille.
92	E	0,5	118	75	948	22	Du milieu de la feuille.
93	E	0,5	162	75	948	54,1	Du bord de la feuille.
94	E	0,5	185	75	948	48,8	Du bord de la feuille.
95	E	0,5	169	75	948	31,4	Du milieu de la feuille.
96	E	0,5	189	75	948	45,0	Du bord de la feuille.

expérience au point de vue des phénomènes qui se manifestent. On n'avait à la disposition que deux feuilles de tôle; les échantillons ont été pris dans ces feuilles aux endroits indiqués sur

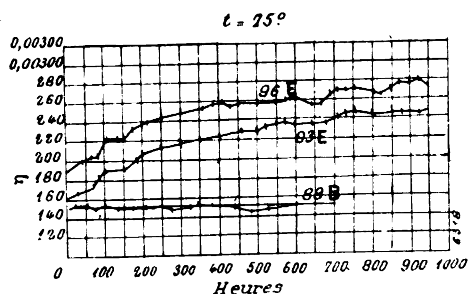


Fig. 5.

le tableau; la matière empruntée au milieu de la feuille semble moins vieillie que celle prise sur le bord.

La figure 5 montre les variations du coefficient d'hystérésis pour les tôles 93 E et 96 E vieillissant fortement, ainsi que pour la tôle 89 B, où il reste à peu près constant. On voit que les courbes sont en forme de zigzag, ce qui se produit toujours quand les mesures sont faites à l'hystérésimètre d'Ewing. Probablement cela vient de ce que l'entrefer entre l'aimant permament et le paquet de tôles a une très grande importance; comme lors de la mise en place, les feuilles peuvent fort bien être déplacées de 0,1 mm les unes par rapport aux autres, il peut se produire une légère diminution de l'entrefer, et par suite une élévation apparente du coefficient d'hystérésis. Un essai montra que le coefficient d'hystérésis d'un échantillon raccourci de 1 mm placé dans l'appareil d'Ewing avait un coefficient d'hystérésis apparent amélioré de 25 p. 100.

Les mesures effectuées en 1902 et résumées dans le tableau VIII montrent que en général les résultats satisfaisants obtenus l'année précédente se maintiennent. On a de nouveau à noter les essais après qu'aucune augmentation n'avait été constatée pendant un temps assez long. Les échantillons 105 et 106 ont été essayés avec l'appareil d'Epstein; w désigne

TABLEAU VIII

(1902)

Nos	DÉSIGNATION de la fourniture.	e	$10^5\,\eta_c$.	t^o	HEURES	$\Delta\eta$ p. 100.	OBSERVATIONS
97	B	0,5	121	75	700	4,1	Recuit.
98	B	0,5	121	75	700	4,1	Non recuit.
99	A	0,5	134	75	700	8,9	Recuit.
100	A	0,5	131	75	700	3,1	Non recuit.
101	B	0,5	119	75	375	4,2	
102	B	0,5	139	75	375	10,3	
103	A	0,5	154	75	375	12,6	
104	D	0,5	114	75	375	0	
105	A	0,5	$w = 3{,}60$	100	325	5,7	
106	B	0,5	$w = 2{,}97$	100	325	8,7	

« le chiffre de perte » c'est-à-dire la perte en watts par kilogramme pour une fréquence de 50 et une induction $\mathfrak{B} = 10\,000$. Ce nombre comprend les pertes par courant de Foucault. Actuellement des essais sont entrepris afin de séparer les pertes par hystérésis de celles par courants de Foucault; il est à présumer que les pertes par courants de Foucault diminuent quand les tôles vieillissent. Les échantillons 105 et 106 ont été essayés à 100° et on a la preuve que l'on peut avoir des tôles qui supportent cette température sans vieillir d'une façon appréciable ; une augmentation de 10 p. 100 des pertes dans le fer d'un transformateur dont les pertes dans le noyau atteignent 2 p. 100, ne fait varier le rendement que de 0,2 p. 100.

M. Stern tire les conclusions suivantes des essais qu'il a entrepris.

1° Le vieillissement des tôles peut se produire à toute température.

2° Les tôles ayant un faible coefficient d'hystérésis ont en général plus de tendance au vieillissement que celle ayant une grande valeur pour η.

3° Pour une tôle qui vieillit, η croît plus vite pour une faible induction que pour une forte.

4° En conséquence, la perméabilité à faible induction diminue plus fortement lors du vieillissement que la perméabilité à forte induction.

5° Un recuit des tôles après l'estampage (ou bien le découpage) est dans le cas le plus favorable sans valeur et la plupart du temps, mauvais.

6° Il y a des tôles qui, entre la température du local et 100°, n'ont aucun vieillissement, ou bien un vieillissement insignifiant.

7° Un certain nombre de laminoirs allemands, après avoir anciennement fourni des tôles qui vieillissaient, sont actuellement en mesure de fournir des tôles ne vieillissant pas ou très peu.

8° Cependant comme aujourd'hui encore on peut recevoir des tôles vieillissant fortement, on doit conseiller de faire toujours des mesures de contrôle.

9° Il n'est pas nécessaire (d'après VI et VII) de prendre des mesures restrictives pour l'élévation de température des tôles des machines et transformateurs, soumises à l'aimantation cyclique. F. L.

Sur l'épaisseur la plus favorable à donner aux tôles de transformateurs pour réduire les pertes dans le fer, par **Hans Kamps**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 93, 5 février 1903.

Les pertes totales dans le noyau d'un transformateur, en watts par centimètre cube de fer, sont obtenues avec une approximation suffisante en faisant la somme des pertes par hystérésis et par courants de Foucault, c'est-à-dire, par l'égalité :

$$W = \eta f \mathfrak{B}_{max}^{1,6} \times 10^{-7} + 0{,}16\,\varepsilon^2 f^2 \mathfrak{B}_{max}^2 \times 10^{-12} \quad (1)$$

η, coefficient de Steinmetz ; f, fréquence ; ε, épaisseur des tôles. Celle-ci intervient seulement dans le terme relatif aux pertes par courants de Foucault ; on pourrait en inférer d'abord que les pertes par hystérésis sont indépendantes de l'épaisseur des tôles, et, en outre, que par une

division à l'infini de celles-ci, on arriverait aussi à réduire indéfiniment les pertes dans le fer. Il n'en est pas ainsi dans la pratique, car il intervient un nouveau facteur qui est le volume total de fer. En effet, proportionnellement au nombre de tôles, croît l'espace nécessaire pour loger l'isolant ; celui-ci prend une place qui serait plus utilement occupée par le fer ; de sorte que, pour conserver au flux de force la même valeur, il faudra augmenter l'induction. Il y a donc une épaisseur limite à donner aux tôles pour réduire l'ensemble des pertes à un minimum ; c'est cette limite que nous nous proposons d'établir.

Soit δ l'épaisseur de l'isolant ; pratiquement cette grandeur peut être considérée comme constante. Représentons par B la valeur que prendrait l'induction si au lieu d'un noyau feuilleté, on utilisait un noyau plein. Pour conserver le même flux dans les deux cas, il faut écrire :

$$\mathfrak{B}\varepsilon = B\,[\varepsilon + \delta] \quad (2)$$

ou

$$\mathfrak{B} = B\left(1 + \frac{\delta}{\varepsilon}\right) \quad (3)$$

Remplaçons $\mathfrak{B}$ par sa valeur dans (1), il vient :

$$W = F\left(1 + \frac{\delta}{\varepsilon}\right)^{1.6} + G\,(\delta + \varepsilon)^2, \quad (4)$$

où

$$F = \eta f B^{1.6} \times 10^{-7} \text{ et } G = 0.16\, f^2 B^2 \times 10^{-12}.$$

Les valeurs de ε qui rendent W minimum sont celles pour lesquelles on a :

$$\frac{dw}{d\varepsilon} = 0 \text{ et } \frac{d^2W}{d\varepsilon^2} > 0.$$

Tous calculs faits, on arrive à l'expression :

$$0{,}8\,\frac{F}{G} = \frac{(\delta + \varepsilon)^{0.4}\,\varepsilon^{2.6}}{\delta}, \quad (5)$$

qui donne pour ε

$$\varepsilon_{min} = 79\sqrt[3]{\frac{\eta\delta}{f B^{0.4}}}. \quad (6)$$

Pour faciliter les applications numériques de cette formule, nous donnons ci-dessous quelques valeurs de $B^{0.4}$ correspondant à diverses inductions :

B	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
	5 500	6 000	6 500	7 000	7 500	8 000	8 500	
$B^{0.4}$	18,64	20,91	22,87	24,60	26,12	27,60	28,93	30,19
	31,34	32,45	33,51	34,52	35,48	36,41	37,31	

Dans la pratique, on emploie le plus souvent les fréquences et inductions suivantes :

La fréquence	25	avec l'induction	B = 10 000
—	50	—	B = { 6 000 / 5 000
—	100	—	B = { 4 000 / 3 000
—	140	—	B = 2 000

Nous prendrons $\eta = 0{,}0015$ et, pour épaisseur de la couche isolante entre deux tôles, $\delta = 0{,}05$ mm. En portant ces valeurs dans la formule (6), on obtient le tableau suivant :

Tableau I.

$\eta = 0{,}0015.$ $\delta = 0{,}05$ mm.

Nos	f	$\mathfrak{B}$	B	$\varepsilon_{min.}$
1	25	10 000	8 500	0,34
2	50	6 000	5 000	0,29
3	50	5 000	4 000	0,30
4	100	4 000	3 500	0,24
5	100	3 000	2 500	0,25
6	140	2 000	1 500	0,24

A titre de vérification, nous donnons, dans les tableaux II, III, IV et V, pour quatre cas particuliers, les pertes séparées et les pertes totales calculées d'après la formule (1) ; de plus, les

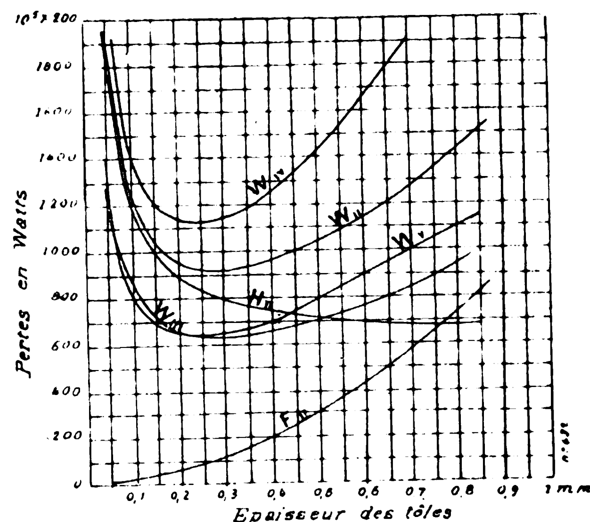


Fig. 1.

courbes de la figure 1 représentent ces mêmes pertes totales en fonction des épaisseurs des tôles ; pour un seul cas on a construit séparé-

ment les courbes correspondant aux pertes par hystérésis et courants de Foucault.

Comme on le voit, les minima relevés sur les courbes concordent bien avec ceux inscrits dans les tableaux.

Tableau II.

$\eta = 0{,}0015$. $\delta = 0{,}05$.
$f = 50$. $B = 6\,000$.

ε	$H \times 10^5$	$F \times 10^5$	$W \times 10^5$
0,8	682	744	1 426
0,6	713	434	1 137
0,5	725	312	1 037
0,4	751	208	959
0,3	797	125	922
0,2	889	64	953
0,1	1 190	23	1 213
0,08	1 353	17	1 370
0,05	1 884	10	1 894

Tableau III.

$\eta = 0{,}0015$. $\delta = 0{,}05$.
$f = 50$. $B = 5\,000$.

ε	$H \times 10^5$	$F \times 10^5$	$W \times 10^5$
0,8	477	476	953
0,6	482	278	760
0,5	507	199	706
0,4	525	133	638
0,3	558	80	663
0,2	622	41	848
0,1	833	15	957
0,08	946	11	
0,05	1 318	7	

Tableau IV.

$\eta = 0{,}0015$. $\delta = 0{,}05$.
$f = 100$. $B = 4\,000$.

ε	$H \times 10^5$	$F \times 10^5$	$W \times 10^5$
0,8	772	1 457	2 229
0,6	796	851	1 647
0,5	820	610	1 430
0,4	850	407	1 257
0,3	902	246	1 148
0,2	1 005	126	1 131
0,1	1 347	45	1 392
0,08	1 530	34	1 564
0,05	2 130	20	2 150

Tableau V.

$\eta = 0{,}0015$. $\delta = 0{,}05$.
$f = 100$. $B = 4\,000$.

ε	$H \times 10^5$	$F \times 10^5$	$W \times 10^5$
0,8	450	744	1 194
0,6	464	434	898
0,5	478	312	790
0,4	495	208	903
0,3	526	125	651
0,2	586	64	650
0,1	785	23	808
0,08	892	17	902
0,05	1 242	10	1 252

En résumé, l'épaisseur de tôle la plus favorable serait : 0,35 mm, pour la fréquence 25; 0,30 mm, pour la fréquence 50 ; et enfin 0,25 mm, pour les fréquences 100 et 140. Il est assez remarquable que ces épaisseurs minima ne diffèrent entre elles que de 0,1 mm, alors que les conditions dans lesquelles on les a relevées présentent des divergences si considérables.

Il est facile maintenant de déterminer les limites entre lesquelles peut varier ε. Comme ces résultats ne doivent être basés que sur l'état actuel de l'électrotechnique, nous nous placerons dans les conditions qui s'en rapprochent le plus. Ainsi les fréquences normales seront 50 et 25, et encore cette dernière intervient-elle assez rarement et exclusivement d'ailleurs dans les stations génératrices qui fournissent la force motrice. L'induction variera entre 3 000 et 10 000 Gauss ; quant aux limites du coefficient d'hystérésis η, nous les fixerons à 0,001 et 0,002. L'industrie fournit difficilement encore des tôles pour lesquelles η tombe à 0,001 ; mais on doit refuser toutes celles qui donnent un coefficient supérieur à 0,002. Enfin on ne peut pas songer à donner à l'épaisseur de la couche isolante une valeur bien inférieure à 0,05 mm, car il faut tenir compte de la couche d'oxyde qui se forme toujours sur chacune des faces de la tôle et qui peut porter cette épaisseur jusqu'à 0,1 mm. Avec des tôles bien décapées, il est possible de prendre 0,03 mm comme épaisseur minima.

Ceci posé, nous adopterons le cas suivant comme point de départ de nos calculs :

$$f = 50, \quad B = 4\,000, \quad \eta = 0{,}0015, \quad \delta = 0{,}05.$$

avec

$$\varepsilon_{min} = 0,30.$$

Faisons varier l'une des quatre quantités qui entrent dans le second membre de la formule

$$\varepsilon_{min} = 79 \sqrt[3]{\frac{\eta \delta}{f B^{0,4}}};$$

on voit que, pour passer du cas moyen à un cas quelconque, il faudra multiplier le résultat moyen par un facteur de correction qui est égal à la racine cubique du rapport entre la nouvelle valeur de la grandeur qui varie et sa valeur moyenne fondamentale pour les termes du numérateur (η et δ), et à l'inverse de la racine cubique du même rapport pour les termes du dénominateur (f et $B^{0,4}$).

D'après leur définition même ces facteurs de correction sont plus grands ou plus petits que 1 et il est évident que nous obtiendrons une limite supérieure pour l'épaisseur de tôle la plus favorable en multipliant la valeur moyenne par le produit de tous les facteurs > 1 et une limite inférieure, en multipliant cette valeur moyenne par le produit de tous les facteurs < 1.

Le tableau VII donne tous ces facteurs de correction pour les limites fixées plus haut à chacune des grandeurs qui entrent dans l'expression de ε.

Tableau VII

GRANDEUR variable	VALEUR initiale	VALEUR maxima	VALEUR minima	FACTEURS de correction > 1	FACTEURS de correction < 1
f	50	50	—	—	—
		—	25	1,259	—
$B^{0,4}$	27,60	37,31	—	—	0,905
		—	22,87	1,065	—
η	0,0015	0,0020	—	1,101	—
		—	0,001	—	0,874
δ	0,05	0,10	—	1,259	—
		—	0,03	—	0,843
Produits totaux.				1,859	0,666

On en deduit pour la limite supérieure : $\varepsilon_{max} = 0,55^{mm}$
— — : $\varepsilon_{min} = 0,20^{mm}$

Nous devons rejeter *a priori* l'épaisseur 0,20 mm comme irréalisable dans la pratique : quant à la limite supérieure, 0,55 mm ou 0,60 mm en tenant compte de la couche d'oxyde, on ne peut pas l'accepter comme une des plus favorables au point de vue de la diminution des pertes dans le fer, sauf des cas particuliers, quand on emploie une fréquence de 25 par exemple. Si on prend celle-ci constante et égale à 50, les valeurs minima de ε s'écartent peu de 0,3 mm ; on peut considérer ce chiffre comme représentant l'*épaisseur normale* des tôles pour transformateurs. Il faudra des valeurs très élevées du coefficient d'hystérésis ou de la couche isolante d'une part, des valeurs très faibles de l'induction et de la fréquence, d'autre part, pour que l'épaisseur de tôle la plus favorable soit sensiblement plus grande que l'épaisseur normale définie ci-dessus.

T. P.

APPAREILLAGE

Régulateur automatique de tension, par **H. Wirt**. *Electrical Review*, t. XLII, p. 242 et 243, 14 février 1903.

Le réglage de la tension des génératrices au moyen d'un rhéostat automatique est trop coûteux, son action est trop lente ; la régulation au moyen des enroulements compound a l'inconvénient de ne pas compenser les changements de vitesse et les variations de température. Le régulateur, système Tyrrell que l'auteur se propose de décrire est construit pour courants continus et pour courants alternatifs. Le réglage de la tension s'y obtient par l'ouverture ou la fermeture d'un court circuit sur les résistances du rhéostat de champ, la variation de voltage étant déterminée par la durée de fermeture ou d'ouverture du court-circuit. Le contact s'effectue au moyen de relais sur une distance d'environ 1,5 mm et peut se répéter de 50 à 800 fois par minute. Le régulateur destiné aux dynamos à courant continu comprend un électro-aimant placé en dérivation sur le circuit extérieur et un relais mis en mouvement par l'action de l'électro-aimant régulateur et fermant un circuit dérivé sur le rhéostat de champ. Un condensateur est également placé en dérivation sur ce circuit pour éviter la production d'étincelles. Pour les génératrices à courant alternatif, le réglage s'effectue par la variation de la résistance des inducteurs. La figure 1 représente le régulateur dans ce cas.

L'électro-aimant de gauche a son enroulement dérivé sur le circuit d'excitation ; celui de droite est dérivé sur le circuit à courant alternatif. Ce

dernier a deux enroulements dont l'un est connecté au circuit extérieur, et l'autre à un transformateur en série. La fonction de ce second enroulement est de proportionner la tension de la génératrice au courant de la ligne et d'équilibrer les pertes de charge. L'effet du compoundage peut être réglé par la mise en circuit d'un plus ou moins grand nombre de spires de l'électro-aimant. L'action de l'un ou de l'autre électro-aimant a pour résultat de faire

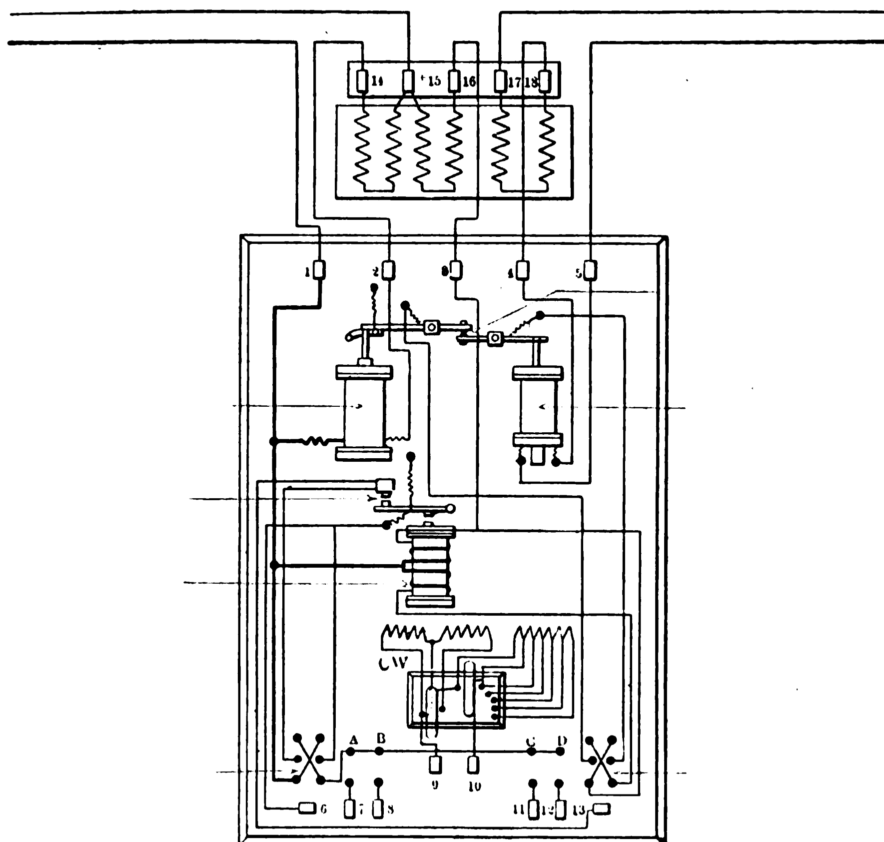


Fig. 1.

fonctionner le relais dont l'armature ouvre ou ferme le circuit dérivé sur le rhéostat d'excitation.

Un même régulateur peut commander un nombre quelconque de génératrices, quelle que soit leur puissance pourvu qu'elles marchent en parallèle ainsi que leurs excitatrices. Ces régulateurs s'appliquent aussi pour le réglage de la tension sur les feeders des transports d'énergie où ils rendent les plus grands services.

P. L. C.

Interrupteur Cooper Hewitt à vapeur de mercure. (Application à la télégraphie sans fil.) *Electrical Review* (N.-Y.) T. XLII, p. 264-267. — 21 février 1903.

A la suite de l'application remarquable de la lampe à vapeur de mercure à un système de convertisseur de courant, voici une application non moins curieuse de la vapeur de mercure à la création d'un interrupteur, d'un rendement et d'une fréquence très élevés. Cette nouvelle invention repose sur les propriétés de l'électrode négative de la lampe à vapeur de mercure, dont la résistance s'oppose au passage du courant jusqu'à ce que la différence de potentiel entre les électrodes ait atteint une valeur assez élevée, de plusieurs milliers de volts. A ce moment, la résistance tombe à une valeur très réduite et une tension de 40 volts environ suffit pour entretenir le courant. Au-dessous de cette tension, la lampe s'éteint et la résistance à la cathode reprend instantanément sa valeur primitive

élevée. La tension de « rupture » de cette résistance varie suivant la forme, les dimensions et la température du tube, depuis 2 000 volts jusqu'aux plus hautes tensions. Cet interrupteur peut remplacer l'excitateur ordinaire employé pour la décharge oscillante des condensateurs et remplit dans ce cas le desideratum d'un interrupteur de faible résistance.

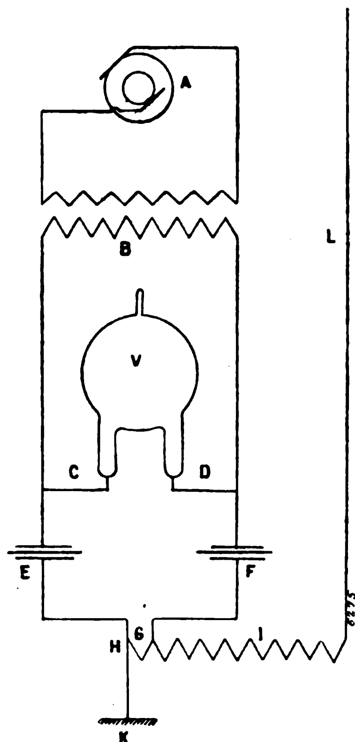


Fig. 1.

La figure 1 indique la disposition de l'interrupteur. A est un alternateur de fréquence usuelle et de basse tension, B est un transformateur qui élève la tension à une dizaine de mille volts ; V est le tube à vide à vapeur mercure, avec ses électrodes, C et D.

Les condensateurs E F sont disposés en quantité sur le tube et reliés entre eux en série par l'intermédiaire d'une spire G constituant le primaire d'un transformateur et dont l'extrémité H est mise à la terre. Le secondaire I de ce transformateur est formé par 25 à 50 spires de fil reliées à une antenne de transmetteur d'ondes.

Pendant une demi-période de la tension alternative du transformateur B, tant que cette tension n'atteint pas la valeur critique de « rupture » à la cathode du tube, les condensateurs E, F, se chargent; quand la tension critique est atteinte, ils se déchargent à travers le tube, avec une rapidité dépendant de l'inductance de la spire G et de la capacité des condensateurs. Cette décharge oscillante diffère néanmoins de celle d'un oscilateur ordinaire, en ce que, au moment où la tension est tombée à une valeur faible, après la première demi-oscillation, la résistance à la cathode reprend sa valeur élevée et l'oscillation suivante ne peut passer qu'autant que les condensateurs se trouvent rechargés à leur pleine tension. L'intervalle de temps nécessaire pour obtenir ce résultat dépend simplement de la puissance de l'alternateur A et du transformateur B, de sorte que le nombre des décharges peut atteindre plusieurs milliers par seconde.

Contrairement à ce qui arrive dans les excitateurs formés de sphères où les décharges sont relativement lentes, l'interrupteur à vapeur de mercure n'est pas susceptible de détériorations sous l'effet d'étincelles, et son rendement est très élevé, ce qui s'explique aisément par la faiblesse de la résistance que les décharges successives ont à traverser, une fois que la résistance à la cathode est vaincue.

La différence de potentiel, pendant la décharge est constante et égale à environ 40 volts; elle ne dépend pas de l'intensité du courant. L'énergie consommée dans l'appareil est employée à volatiliser le mercure ; elle se dissipe sous forme de chaleur de condensation des vapeurs. Sur les parois du tube, que l'on refroidit artificiellement, le mercure condensé retombe dans les tubulures qui portent les électrodes C, D, sans autre altération.

La forme type de l'interrupteur consiste en un globe de verre de 20 à 25 cm de diamètre se prolongeant à la partie inférieure par deux tubulures partiellement remplies de mercure et renfermant les prises de courant. On y fait le vide par une tubulure supérieure que l'on ferme ensuite au chalumeau.

Dans une récente expérience effectuée par M. Hewitt dans son laboratoire de New-York, on employait un alternateur de deux chevaux ; l'interrupteur à vapeur de mercure entrait en fonction à 14000 volts ; il était placé ensuite en parallèle avec un excitateur à sphères qu'on éloignait progressivement jusqu'à une certaine distance où l'interrupteur commençait à fonctionner seul. La différence d'énergie des radia-

tions de l'antenne était très visible dans les deux cas ; avec l'interrupteur à vapeur de mercure il se produisait des aigrettes bien plus puissantes sur l'antenne. Dans ces expériences la capacité des condensateurs était d'environ 0,015 microfarad et le diamètre de la spire primaire, de 97 cm ; le courant de décharge était assez fort, avec l'interrupteur Hewitt, pour échauffer les fils de connexion, l'interrupteur lui-même s'échauffant très peu.

En réduisant l'inductance et la capacité du circuit, de façon à augmenter la fréquence, et avec une source d'énergie puissante, l'énergie des radiations peut être augmentée à volonté [1]. P.-L. C.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Le canon électro-magnétique de M. de Birkeland. *Elektroteknisk Tidsskrift*, Copenhague, t. VII, nº 22, p. 167-169, 1er mai 1903.

Lorsque le professeur Birkeland fit publique son invention du canon électro-magnétique, bien des inventeurs vinrent la revendiquer comme leur ; c'est que le principe de cet appareil, consistant à attirer un noyau de fer à l'intérieur d'un solénoïde et à le projeter au dehors du côté opposé, n'était point nouveau. Ce qui importait et ce qui faisait le prix de l'invention du savant professeur norvégien, c'était au contraire la manière dont de bons résultats étaient assurés avec une consommation d'énergie relativement faible et sans la production d'étincelles.

Quand on attire un projectile, au moyen d'une force électrique, à l'intérieur d'une spirale, le projectile, étant devenu magnétique, s'arrête au milieu du solénoïde, où les deux forces opposées qui le sollicitent se compensent. En interrompant le courant à ce moment même, on verra le noyau continuer son chemin et s'élancer au dehors avec une force très considérable, si l'intensité du courant a été grande. La difficulté qu'il s'agit de résoudre c'est la manière dont le courant est interrompu dans les conditions qu'on vient de citer.

Le canon de M. Birkeland est composé d'une série de bobines élémentaires courtes et plates et où le courant est interrompu successivement, au fur et à mesure que le pôle antérieur du projectile a passé les bobines ; c'est ainsi que ces dernières n'auront jamais d'influence sensible sur le pôle postérieur du projectile. Cette disposition est représentée dans la figure 1, où *a*

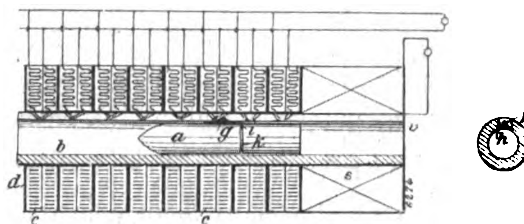


Fig. 1.

est le projectile, ayant précisément commencé sa course ; *b*, le tube en cuivre ou en bronze entouré des solénoïdes *c*, reliés deux à deux en série. Les connexions sont formées par des coupe-circuit *e*, disposés suivant une incision longitudinale qu'on a faite dans le canon. Les bras de ce coupe-circuit sont susceptibles d'être déplacés l'un par rapport à l'autre, de manière à détruire leur contact et à interrompre, par là, le courant traversant le groupe de solénoïdes en cause. Ce déplacement est opéré au moyen d'une goupille en coin *f*, supportée par un glisseur isolé *g*, guidé par une rainure pratiquée à l'intérieur du canon et qui est entraîné par le projectile, une saillie *i* du glisseur s'engageant dans une rainure angulaire *k* du projectile. A mesure que le projectile avance dans sa course, les bras de contact sont rencontrés et écartés par la goupille.

Pour saturer de magnétisme le projectile, lequel est en fer, on emploie une bobine *s* à source de courant indépendante ; un moteur spécial, dont l'axe est solidaire de la partie postérieure du projectile, sert à mettre ce dernier en rotation, avant qu'il ne commence sa course longitudinale.

Les essais faits par M. Birkeland ont donné des résultats fort remarquables. Il est intéressant de noter les surcharges extrêmement élevées auxquelles on peut exposer les conducteurs

[1] M. le professeur Pupin, en commentant cette importante découverte, y voit, avec raison, la certitude d'un nouvel essor de la télégraphie sans fil, dont les progrès se trouvaient arrêtés par suite de l'absence d'un générateur d'ondes puissantes et persistantes. Selon Pupin, l'interrupteur à vapeur de mercure de Cooper Hewitt constitue le premier progrès réalisé depuis 1896 dans la télégraphie sans fil ; l'importance n'en saurait être exagérée.

pourvu que cela ne se fasse que pendant des intervalles très courts ; aussi le principe fondamental du canon de Birkeland, c'est de provoquer des surcharges très fortes pendant quelques centièmes de seconde. Après avoir été lancé dans toutes les bobines, le courant est éliminé d'un nombre de plus en plus grand de ces dernières, à mesure que le projectile avance dans le canon ; c'est là la disposition représentée dans la figure 1. En raison cependant du réchauffement considérable et de l'attraction très faible que les bobines voisines de l'embouchure exercent sur le projectile placé à l'extrémité opposée du canon, M. Birkeland préfère n'insérer d'abord que le premier tiers du canon dans le circuit électrique ; aussitôt que le boulet se met en mouvement, le second, et lorsque le projectile est un peu avancé, le troisième tiers sont insérés, en tenant compte du temps voulu pour que le courant prenne sa valeur normale, ce qui demande environ 2/100 de seconde. Les dispositifs destinés à fermer le courant, à mesure que le boulet avance, ont été souvent modifiés.

Quant à la manière dont la production des étincelles se trouve prévenue l'inventeur utilise une intéressante propriété que possède le canon électro-magnétique. En traversant le canon, le magnétisme du projectile y induit une force électromotrice opposée à la tension appliquée et qui est maxima à l'embouchure. Comme toutefois le temps pendant lequel elle agit là est si court, cette force sera susceptible d'anéantir le courant au moment où se fait l'interruption, tant à l'avant qu'à l'arrière du canon. L'expérience a fait voir, en effet, que si l'interruption se fait sans la production d'étincelles dans une quelconque des bobines, l'on n'observe pas non plus d'étincelles sur toutes les autres. Il faut cependant, pour obtenir ce résultat, que le projectile soit d'un calibre relativement grand.

M. Birkeland a également construit un projectile-solénoïde d'un calibre plus réduit (jusqu'à 15 cm) et dont l'emploi est surtout indiqué dans le cas où la source n'offrirait qu'une résistance intérieure faible. Dans ce cas, on dispose les solénoïdes avantageusement en groupes reliés en série, chaque groupe constituant un fil ininterrompu sur lequel glisse le projectile. Ce fil est, par son extrémité antérieure, relié à l'une des bornes du circuit, alors que l'autre extrémité est isolée ; l'autre borne du circuit étant en rapport avec le canon proprement dit, le projectile met en communication les deux parties du circuit. La figure 3 représente le schéma d'un canon pareil à enroulement continu et unique.

Le projectile-solénoïde comprend des enroulements, traversés par un courant électrique pendant la course du projectile ; cette modification est susceptible de donner des effets bien supérieurs, la force motrice pouvant être jusqu'à

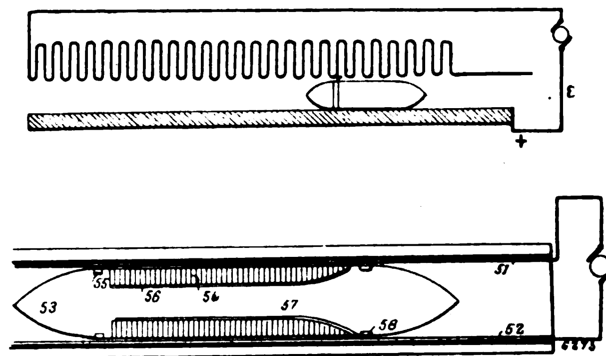


Fig. 2 et 3.

16 fois plus grande que celle des projectiles de fer. Des barres de contact disposées à l'intérieur du canon servent à amener le courant aux solénoïdes du projectile, qui est représenté avec toutes les connexions qu'il comporte dans la figure 3 ; l'interruption se fait comme dans le dispositif précité.

50 est le canon proprement dit ; 51 et 52, des barres de contact bien isolées et longeant le canon tout entier. Le projectile 53 peut se faire en acier et être creusé, en vue de recevoir des explosifs. La portion moyenne du projectile est entourée de solénoïdes 54, de préférence courts et reliés en série. Le courant passe du conducteur 51, à travers l'anneau 55, au conducteur 56, d'où il se rend, à travers les solénoïdes, au conducteur 57, et de là, à travers l'anneau 58, au conducteur 52. Alfred Gradenwitz.

TRACTION

Parmi les mémoires présentés à la deuxième section du deuxième Congrès international d'automobiles (15-18 juin 1903), nous avons déjà résumé ceux relatifs aux batteries d'accumula-

teurs [1]. Nous analyserons ici les travaux se rapportant aux autres parties de la voiture électrique.

***Moteurs électriques d'automobiles*, par M. de Rechniewski.**

L'auteur signale d'abord les imperfections des premiers moteurs appliqués à la traction des automobiles. Il attribue une importance capitale à la substitution des balais métalliques par les balais en charbon. Les premiers demandent en effet un ajustement continuel de leur position suivant la puissance que le moteur a à fournir à chaque instant. Ce déplacement étant impossible à faire sur une voiture on était obligé de donner aux balais une position moyenne, et dans ces conditions il y avait usure rapide et des balais et des collecteurs. Les balais en charbon permettent d'enfermer entièrement les moteurs et de ne pas s'occuper du collecteur pendant des journées entières, une visite sommaire après chaque voyage étant suffisante pour se rendre compte de l'état du collecteur.

Après description des différents types de moteurs d'électromobiles, l'auteur dit quelques mots des conditions générales d'établissement de ces moteurs.

Les moteurs peuvent être soumis au moment du démarrage à des efforts très violents, mais courts, et qui peuvent atteindre près de dix fois l'effort moyen. Il faut donc qu'ils soient construits de façon à pouvoir les supporter, c'est-à-dire que leur clavetage et leur axe soient étudiés en vue de ces efforts anormaux. Il faut que les soudures des conducteurs de l'induit dans le collecteur soient en large surface permettant de subir des courants momentanés très violents sans se dessouder. D'un autre côté, la charge moyenne n'étant en général pas très élevée, ils peuvent être construits entièrement blindés, sans crainte d'échauffement exagéré.

En résumé, leurs conditions d'établissement sont analogues et peut être même plus dures que celles des moteurs de tramways et de chemins de fer. De plus, ils doivent être suffisamment protégés par leur enveloppe pour ne pas craindre le contact de l'eau auquel ils peuvent être exposés, soit en traversant les rues mouillées, soit lors du lavage de la voiture. Enfin il faut prendre soin que le démontage soit commode et que la visite des parties essentielles, tel que le collecteur, soit facile, que le remplacement des balais puisse aisément se faire, de même que le graissage. Le choix d'un moteur pour une voiture est chose délicate et ce moteur doit être différemment calculé suivant que la voiture est une voiture de luxe, un camion ou un fiacre.

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 183 et 185, 1er août 1903.

***Moteurs et combinateurs pour voitures électriques*, par M. Perret.**

L'auteur étudie les procédés de réglage de la vitesse. Un premier moyen consiste à modifier la tension aux bornes du moteur. Cette modification peut être obtenue en sectionnant la batterie, en deux ou plusieurs parties égales que l'on groupe en quantité ou en série.

Le plus souvent la batterie est sectionnée en deux demi-batteries, quelquefois on la divise en quatre parties. La vitesse variant à peu près proportionnellement à la tension, on dispose ainsi de deux vitesses proportionnelles à 1/2 et 1 dans le premier cas, et de trois vitesses proportionnelles à 1/4, 1/2 et 1 dans le deuxième cas. On peut également faire varier la tension en couplant en série ou en parallèle deux moteurs. Le même résultat s'obtient avec un seul moteur muni de deux enroulements induits semblables, aboutissant chacun à un collecteur.

Ce couplage des moteurs peut en outre être combiné avec celui de la batterie. Enfin, l'introduction d'une résistance variable dans le circuit permet également de diminuer la tension, mais comme il en résulte une dépense de puissance, cet emploi est évité, surtout dans les voitures à accumulateurs et les résistances ne sont introduites qu'aux démarrages.

Un second procédé de réglage de la vitesse consiste à faire varier l'excitation. La vitesse d'un moteur sous une tension donnée varie en effet à peu près en raison inverse du flux. Mais les limites de variation sont restreintes, car en augmentant l'excitation on arrive vite à la saturation; d'autre part, pour assurer un bon fonctionnement du moteur, on est conduit à ne pas diminuer l'excitation au delà d'une certaine limite. Pour ces raisons, on atteint difficilement en pratique une variation de vitesse dans le rapport de 1 à 2 avec ce procédé.

Parmi les autres modes de réglage, qui se

rattachent d'ailleurs au précédent, il faut citer l'emploi d'un moteur à deux enroulements induits formés de nombres de spires différents; on obtient alors 4 vitesses selon qu'on prend un des deux enroulements ou les deux disposés en tension ou en opposition. Le procédé qui consiste à faire varier la résistance du circuit magnétique par augmentation ou diminution de l'entrefer donne sensiblement les mêmes résultats que la variation de l'excitation : mais il ajoute une complication mécanique au moteur.

Après avoir dit quelques mots sur le démarrage, le freinage, sur les organes accessoires, l'auteur décrit les dispositions générales des combinateurs des principaux types de voiture. Nous n'insisterons pas sur ces descriptions déjà connues.

Les combinateurs, dont l'étude est liée à celle des moteurs pour les couplages, et de la voiture pour la disposition, doivent répondre tous à un certain nombre de conditions essentielles ; sécurité dans la conduite et le réglage de la voiture, commodité de la manœuvre, facilité de la visite et de l'entretien, plus grande simplicité compatible avec la sécurité de la conduite. Les contacts doivent être assez robustes pour ne pas se détériorer, leur démontage et leur remplacement doivent être faciles. Le dispositif le plus couramment usité consiste en un cylindre mobile sur son axe et qui peut être actionné par le levier de réglage. Le corps de ce cylindre est formé par une substance isolante et des plots métalliques isolés les uns des autres sont montés sur sa surface. Ces plots établissent, aux différentes positions du cylindre, les connexions voulues entre les doigts de contact placés côte à côte parallèlement à l'axe du cylindre.

Le mémoire se termine par la description détaillée du combinateur de la voiture Jantaud.

Les transmissions dans les voitures électriques, par **M. Paul Level**.

La question de la transmission dans les voitures automobiles est intimement liée à celle de la direction. Pour éviter les ripements et les dérapages, il faudrait que la résultante des réactions des roues motrices passe par le centre de l'essieu directeur et soit tangente, en ce point, au cercle décrit autour du centre instantané de rotation des quatre roues.

Dans les transmissions sur les roues avant, avec avant-train à cheville ouvrière, les deux roues ont un mouvement différentiel. Ici la résultante des réactions motrices des roues sur le sol est toujours appliquée au centre, c'est-à-dire à la cheville ouvrière, et perpendiculaire à l'axe, par conséquent, elle sera bien tangente au cercle décrit autour du centre instantané de rotation des quatre roues qui est sur le prolongement de l'essieu directeur au point où il coupe le prolongement de l'essieu arrière. Cette solution est d'une exactitude absolument théorique.

Dans le cas d'un avant train à deux pivots, les deux roues ont encore un mouvement différentiel. Ce mouvement peut être obtenu mécaniquement et alors il faut avoir une transmission aux roues qui permette le braquement; il peut être encore obtenu par deux moteurs actionnant chacun une roue. Ici aussi, on réalise d'une manière approchée la solution théorique, car la résultante est à peu près tangente au cercle instantané de rotation décrit par le centre de l'essieu.

Malgré leurs grands avantages ces deux solutions présentent quelques inconvénients : Pour la première, c'est le manque de stabilité de la voiture ainsi que la manœuvre pénible de la direction; cette manœuvre suscite une démultiplication telle qu'il peut arriver que le changement de direction n'ait plus la promptitude désirable. Dans la deuxième solution, il est bien difficile de construire deux moteurs électriques exactement semblables et ayant même rendement, même calage des balais, etc., de sorte que les deux actions sur les roues n'étant plus identiques, tout le bénéfice d'une solution très voisine de la solution théorique disparaît.

Les transmissions sur les roues arrière donnent des perturbations dans la direction, mais leur simplicité les fait adopter plus généralement que les autres. Les roues sont animées d'un mouvement différentiel qui peut être mécanique ou électrique.

Avec le différentiel **mécanique**, il y a trois dispositions : *a*. Le moteur électrique **porte un** petit pignon qui attaque la couronne dentée d'un différentiel qui fait corps avec lui; le moteur est fixé sous la caisse où il est bien suspendu et les extrémités des arbres du différentiel portent les pignons qui attaquent par chaîne les roues arrière; *b*. Le même moteur peut être fixé d'une part sur l'essieu autour duquel il peut tourillon-

ner et d'autre part sous la caisse. Il n'est que demi-suspendu, mais cette disposition permet d'attaquer les roues par engrenages en fibre ou en cuir, ce qui supprime tout bruit désagréable; *c*. Dans cette disposition, la plus simple et la plus recommandable, le moteur électrique est dégagé de tout organe mécanique. L'induit attaque une transmission par cardans et à l'autre bout de cette transmission, un pignon d'angle attaque la couronne du différentiel; l'attaque d'angle et le différentiel sont renfermés dans un carter dont les prolongements forment un essieu creux qui sert de palier aux deux arbres du différentiel.

Avec le différentiel électrique, on rencontre trois dispositions particulières : *a*. On peut avoir deux moteurs électriques séparés attachés à la caisse de la voiture et attaquant des chaînes commandant les roues arrière; *b*. On peut se servir aussi d'un moteur à deux induits séparés mais dans un seul inducteur; *c*. Un de ces deux systèmes peut être appliqué en attaquant les deux roues par des engrenages et en suspendant le moteur à l'essieu de façon qu'il soit articulé au centre de cet essieu.

Ces différents systèmes ne sont pas de véritables différentiels ; ils ne permettent qu'un retard d'une roue sur l'autre, avec tendance à ce que les roues tournent à la même vitesse. La solution du différentiel idéal a été indiquée par M. Gasnier il y a quelques années; elle consiste à rendre mobiles l'inducteur et l'induit, en sens inverse, chacun d'eux actionnant une des roues motrices par des engrenages respectivement extérieur et intérieur.

***Voiture mixte Kriéger*, par M.-G. Lumet.**

L'auteur décrit la voiture mixte employée par M. Kriéger dans le circuit du Nord. C'est un phaéton avec batterie d'accumulateurs située partie à l'avant, partie sous le siège du conducteur. Les deux moteurs de la voiture attaquent les deux roues d'avant par un seul train d'engrenages, le rapport du pignon du moteur à l'engrenage calé directement sur la roue étant d'environ 1 à 8. Chaque moteur du type ordinaire Kriéger a une puissance de 3 200 watts sous 80 volts.

Le combinateur est du type normal des voitures Kriéger; sa manette est concentrique à l'arbre de la direction dont l'axe est incliné d'environ 75°. Ce combinateur comporte 8 crans pour la marche avant, correspondant aux différentes combinaisons et couplage des moteurs et de la batterie, un cran d'arrêt, un cran de freinage électrique et un cran de marche arrière.

Le groupe électrogène comprend un moteur de Dion de 3 poncelets actionnant directement par un couplage élastique à bague de caoutchouc une génératrice identique aux moteurs de la voiture, mais dont le bobinage est un peu différent; l'excitation est simplement shunt au lieu d'être compound. Les balais de la génératrice sont reliés directement aux pôles de la batterie. Les différentes commandes du moteur à essence, allumage, régulateur d'échappement et admission du gaz, sont placées à droite du siège du conducteur, à portée de la main.

La particularité la plus remarquable de cette voiture est la possibilité de faire marcher le groupe électrogène quelle que soit la différence de potentiel aux bornes de la génératrice, et cela avec une puissance constante. Le dispositif consiste simplement à relier les extrémités de l'enroulement shunt d'excitation aux bornes de la génératrice, sur lesquelles le courant général de marche est pris. Dans ces conditions, la tension aux bornes de l'enroulement shunt varie exactement comme celle produite soit par les couplages, soit par les baisses accidentelles de la tension de la batterie.

En supposant d'abord les deux demi-batteries en série, la tension étant 88 volts, le courant passant dans l'excitation de la génératrice aura une intensité suffisante pour que le courant débité par la génératrice, multiplié par la tension de 88 volts, donne une puissance égale à celle produite par le moteur thermique. Si, par suite d'un couplage, la tension tombe brusquement à 44 volts, le courant d'excitation tombe de moitié. Dans ces conditions la tension aux bornes de la génératrice tombera (à la courbe d'Hopkinson près) à la moitié de la valeur qu'elle avait précédemment, c'est-à-dire qu'elle tendra à se mettre en égalité avec la tension de la batterie. Le courant débité par le groupe électrogène doublera sans que la puissance demandée au moteur thermique augmente.

La voiture mixte Kriéger est donc une voiture électrique avec groupe électrogène, permettant : soit de recharger à l'arrêt une batterie d'accumulateurs, soit d'aider en marche cette batterie.

Elle a tous les avantages de la voiture électrique et le moteur thermique, travaillant constamment à pleine charge, fatigue bien moins que lorsqu'il est soumis aux à-coups d'embrayage et changements de vitesse d'une voiture à essence ordinaire.

La voiture en question pesait à vide 1 320 kg y compris une batterie de 400 kg ; le poids total, y compris pièces de rechange, eau, huile, essence et deux voyageurs, atteignait 1 585 kg.

En palier, à la vitesse de 45 km : h, la dépense d'énergie était de 5 600 watts (70 ampères sous 80 volts). Sur les 70 ampères, le groupe en donnait 25 ampères.

A la vitesse de 22 km : h la batterie recevait exactement l'énergie dépensée, de sorte que le groupe marchant seul permettait la propulsion de la voiture.

Le groupe électrogène permettait de recharger la batterie en débutant à 25 ampères et finissant à 15 ampères quand la tension atteignait 110 volts. En chargeant les deux demi-batteries en parallèle, la tension tombait à 45 volts et l'intensité montait à 50 ampères [1].

DIVERS

Tension superficielle de mercure polarisé, par **G. Kucera**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 529-561 et 698-726, juillet 1903.

La tension superficielle au contact de deux liquides dont les tensions superficielles sont α_1 et α_2 est donnée par la formule :

$$\alpha_{12} = \alpha_1 + \alpha_2 - 2A_{12}$$

La théorie qui conduit à cette formule ne tient pas compte de la diminution de tension superficielle provoquée par la différence de potentiel au contact ou la couche double électrique de Helmholtz. On s'affranchit de l'influence de cette couche double en polarisant la surface par la force électromotrice qui correspond au maximum de la courbe électrocapillaire.

Si on fait écouler du mercure par une pointe capillaire plongée dans un électrolyte, la tension superficielle est proportionnelle au poids des gouttes (diminué de la poussée exercée sur ces gouttes par l'électrolyte). Mais il est nécessaire de ramener ce poids à une même durée d'écoulement.

L'influence de la température est très faible. Quand la pointe capillaire est cathode, la grosseur des gouttes augmente avec la durée d'écoulement, d'abord plus vite que celle-ci, puis à partir d'une certaine valeur de la durée, suivant une fonction linéaire.

Dans le cas de l'acide sulfurique, il est impossible de formuler une loi simple pour représenter cette variation.

Si le mercure s'écoule dans l'eau fraîchement distillée ou dans l'alcool éthylique, alors que les deux mercures sont en court-circuit, le poids des gouttes passe par un maximum pour une certaine valeur de la durée d'écoulement. L'eau qui a séjourné longtemps au contact du mercure ou les électrolytes ne donnent pas ce maximum. Il y a lieu d'attribuer l'existence de ce maximum au mercure qui se dissout. Par suite de cette dissolution, la différence de potentiel au contact des deux liquides varie ; dans le cas de l'eau pure, l'équilibre ne s'établit que très lentement à cause de la faible conductibilité.

Dans l'acide azotique où le sel de mercure se forme en plus grande quantité, la variation change même de sens pour les faibles polarisations.

Il est donc nécessaire d'employer des dissolutions ou de l'eau, qui ayant séjourné longtemps sur le mercure, sont en équilibre chimique avec ce dernier. Le coefficient de variation reste alors constant pendant toute la durée d'une mesure.

Lorsque la pointe forme l'anode, une faible polarisation suffit à rendre l'écoulement irrégulier. En examinant à la loupe la surface des gouttes, on reconnaît qu'elle est recouverte d'oxyde de mercure.

Si l'écoulement était réglé seulement par le frottement intérieur, le débit du mercure reste-

---

[1] Signalons encore deux autres communications relatives à des sujets déjà connus de nos lecteurs :

Régulateur électrique de Dion-Bouton, par M.-G. LUMET.

Dans le but de maintenir constante la différence de potentiel d'un groupe électrogène, on munit, en général, le moteur d'un régulateur qui tend à lui donner une vitesse uniforme; sur la dynamo, un rhéostat automatique fait varier l'excitation de façon à obtenir une tension constante.

Dans le dispositif de Dion-Bouton, il y a un régulateur électro-magnétique unique qui, placé en dérivation sur la dynamo est soumis aux oscillations de la différence de potentiel et agit sur les organes de distribution du moteur en donnant à celui-ci une vitesse variable répondant exactement aux besoins de la dynamo.

rait constant tant que la température et la charge resteraient invariables. Au contraire, le débit décroît quand le poids des gouttes augmente, ce qui s'explique par la réaction de la tension superficielle des gouttes. La pression capillaire agit en sens contraire de la pression hydrostatique de la colonne de mercure et produit une diminution de la charge. Cette réaction est d'autant plus grande que les gouttes sont plus petites.

Il faut tenir compte encore de ce que les gouttes n'ont pas la même grosseur à toutes les phases de leur formation.

Les courbes qui représentent la tension superficielle en fonction de la polarisation ont l'allure caractéristique des courbes électrocapillaires à part quelques divergences, surtout dans le cas des sels ; les courbes de Paschen se placent très bien entre celles-ci.

On détermine le maximum de la tension par une construction graphique.

Le coefficient d'adhésion A_{12} croît régulièrement avec la densité des dissolutions. Le coefficient d'adhésion du mercure avec l'eau augmente quand on dissout un électrolyte dans l'eau, exception faite pour l'acide sulfurique. Dans ce dernier cas, le coefficient croît d'abord très rapidement, puis commence à décroître déjà quand la densité atteint 1,01, passe par un minimum quand la densité est 1,16 et croît ensuite lentement.

Il n'y a pas de relation simple entre le coefficient d'adhésion et le poids moléculaire.

D'après Wiedeburg, le coefficient c de la formule

$$\alpha_0 = \alpha_m - \frac{1}{c} V_m^2$$

où α_0 est la constante capillaire en court-circuit, α_m la constante capillaire maxima correspondant à la force électromotrice de polarisation V_m, pourrait être le même pour tous les électrolytes. Les mesures ne vérifient pas cette prévision.

Quand on met en contact une dissolution électrolytique avec une surface de mercure fraîche, on observe souvent un maximum secondaire sur la courbe électrocapillaire. D'autre part, sur la branche ascendante de la courbe, les mesures sont plus difficiles, tandis que la branche descendante est beaucoup plus régulière. Ces phénomènes sont provoqués par les réactions chimiques qui se produisent entre le mercure et l'électrolyte.

L'influence de la dépolarisation spontanée se fait sentir aussi sur les mesures effectuées avec les électrodes à gouttes. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 20 juillet 1903.

Sur une nouvelle action produite par les rayons n et sur plusieurs faits relatifs à ces radiations, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 166-169.

» L'action des rayons *n* sur une petite flamme me donna l'idée d'essayer s'ils n'exerceraient pas une action analogue sur un corps solide incandescent. A cet effet, un fil de platine d'environ 0,1 mm de diamètre et 15 mm de longueur, fut porté au rouge sombre par un courant électrique. Sur ce fil, on dirigea un faisceau de rayons *n* émis par un bec Auer à travers des écrans de bois et d'aluminium et concentrés par une lentille de quartz. On observait le fil à travers un verre dépoli fixé au même support que lui, à environ 3 cm en avant. En déplaçant le fil, on trouve une série de foyers, comme avec les autres procédés propres à déceler les rayons *n*. Le fil étant placé à l'un de ces foyers, lorsque l'on interpose un écran de plomb, ou simplement la main, sur le trajet des rayons *n*, on voit la tache lumineuse formée sur le verre dépoli diminuer d'éclat ; lorsque l'on enlève ces obstacles; la tache reprend son premier éclat. Ces actions ne semblent pas instantanées.

» J'ai généralisé les expériences précédentes en employant, au lieu d'un fil chauffé par un

courant électrique, une lame de platine de 0,1 mm d'épaisseur, inclinée de 45° sur le plan horizontal, portée partiellement au rouge sombre par une petite flamme de gaz placée par-dessous. Un faisceau horizontal de rayons *n* concentrés par une lentille était dirigé sur la face inférieure de la lame, de façon à produire un foyer à l'endroit chauffé ; on observait la tache incandescente sur la face supérieure, sans interposition d'un verre dépoli. Les variations d'éclat sont exactement analogues à celles du fil. En observant, à travers un verre dépoli, l'intensité de l'éclairement produit sur la face inférieure de la lame de platine par l'ensemble de la tache incandescente de la lame et de la flamme, on constate des variations toutes pareilles. On obtient encore les mêmes résultats si, au lieu de faire tomber les rayons *n* sur la face inférieure de la lame, par conséquent du côté où se trouve la flamme destinée à l'échauffer, on les dirige sur la face supérieure.

» Les différents effets produits par les rayons *n* : action sur l'étincelle, sur la flamme, sur la phosphorescence, sur l'incandescence, conduisaient à penser que ces rayons pouvaient agir en échauffant les corps qui leur sont soumis. Pour soumettre cette question à l'expérience, j'installai une pile thermo-électrique de Rubens reliée à un galvanomètre à cuirasse. L'action des rayons *n* sur cet appareil a été absolument nulle, même dans les conditions les plus favorables, bien qu'une bougie placée à 12 m de la pile donnât une déviation de 0,5 mm environ de l'échelle ; j'ai opéré tant avec les rayons *n* provenant d'un bec Auer qu'avec ceux du soleil, le 3 juillet dernier, à l'heure de midi : les rayons *n* étaient très intenses, car en plaçant devant la pile un tube contenant du sulfure de calcium faiblement isolé, son éclat était de beaucoup augmenté et diminuait par l'interposition d'un écran de plomb ou de la main. M. H. Rubens a fait la même constatation, comme il a eu l'obligeance de me l'écrire ; son appareil était beaucoup plus sensible que le mien. J'ai cru néanmoins utile de rechercher directement si le fil de platine incandescent ne s'échaufferait pas sous l'action des rayons *n*. Pour cela, j'ai eu recours à l'étude de sa résistance électrique. Le courant qui parcourt le fil est produit par 5 accumulateurs ; à l'aide de rhéostats très résistants, on règle l'intensité de façon que le fil de platine soit rouge sombre. Ce fil est tendu entre deux pinces massives de laiton A et B, qui sont reliées aux bornes d'un électromètre capillaire ; sur l'un des fils de communication est intercalée une force électromotrice, réglable à volonté, produite par dérivation du circuit d'une pile auxiliaire ; cette force électromotrice est réglée de façon que l'électromètre soit au zéro. Toute variation de la résistance du fil de platine produit une déviation de l'électromètre. Or, les rayons *n* ayant été dirigés sur le fil, on n'observa aucune déviation du ménisque ; l'interposition d'un écran de plomb ou d'un papier mouillé restait sans aucun effet sur l'électromètre, bien que l'éclat du fil éprouvât les variations accoutumées. Cela vérifie bien que les rayons *n* n'élèvent pas sa température. Je me suis, du reste, assuré que la méthode était suffisamment sensible par les expériences suivantes. A l'aide d'un rhéostat à fil, un aide faisait varier la résistance du circuit comprenant le fil de platine et les accumulateurs, et, par là, l'intensité du courant, mais pas assez toutefois pour que l'observateur aperçût une variation de l'éclat du fil ; malgré cela, l'électromètre était dévié de trois divisions du micromètre oculaire. Voici encore un autre contrôle : une élévation de 1° de la température du fil changerait sa résistance dans le rapport $\frac{1,004}{1}$ environ ; la différence entre les potentiels de A et de B changerait dans le même rapport, puisque, la résistance extérieure au fil étant très grande, l'intensité ne change pas ; dans mes expériences, cette variation dévierait l'électromètre de 15 divisions. Comme on ne constatait absolument aucune déviation, et que l'on eût d'ailleurs put apprécier aisément 1/4 de division, l'élévation de température était certainement très inférieure à $\frac{1}{15} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{60}$ de degré et, par conséquent, tout à fait insuffisante pour produire l'augmentation d'éclat observée. Il est ainsi surabondamment établi que l'augmentation d'éclat produite par les rayons *n* n'est pas due à une élévation de température.

» Dans les expériences sur une lame de platine qui ont été décrites plus haut, l'augmentation d'éclat se montrait sur les *deux faces* de la lame. Etant donné qu'il n'y pas d'élévation de température, ce fait semble paradoxal : comme, en effet, les rayons *n* ne traversent pas le pla-

tine, il semblait qu'il ne dût y avoir d'action que sur la face de la lame qui leur est exposée. Pour tout concilier, il fallait supposer que les rayons *n*, qui ne traversent pas le platine froid, traversent le platine incandescent. J'ai alors repris l'appareil destiné à montrer l'action des rayons *n* sur une petite flamme, puis, derrière la lentille de quartz, j'ai disposé une lame de platine plus grande que la lentille. L'interposition d'un écran de plomb *entre le platine et la source* ne produisait aucun effet sur la petite flamme, ce qui vérifie l'opacité du platine. La lame de platine ayant été ensuite portée au rouge, on constata que l'interposition de l'écran de plomb diminuait l'éclat de la petite flamme : les rayons *n* issus du bec Auer traversent donc le platine incandescent. »

Contribution à l'étude de la surchauffe, par **A. Petot**. *Comptes rendus* t. CXXXVII, p. 173-175.

On traite d'ordinaire, dans les calculs industriels, la vapeur surchauffée comme un gaz parfait; et l'on emploie diverses formules empiriques, parmi lesquelles la plus usitée est la suivante :

$$Q = 606,5 + 0,305 t_1 + 0,48 (t - t_1). \qquad (1)$$

due à Regnault. Comme ces formules ont été établies à une époque où l'on obtenait qu'une surchauffe très modérée, on peut craindre qu'elles ne soient plus suffisamment exactes, depuis que l'on atteint des températures de 300°, à 350°, et plus, dans les surchauffeurs. Il semble donc qu'il serait utile de reprendre l'étude de la vapeur d'eau surchauffée, afin de compléter les résultats dus à Clausius, à Hirn et à Zenner.

Dans cet ordre d'idées, en partant de l'équation de Clausius, mise sous la forme

$$p = \frac{RT}{v - \alpha} - \frac{T\theta}{(v + \beta)^2}, \qquad (2)$$

où θ est une fonction arbitraire de t, l'auteur a obtenu en général, pour l'énergie interne d'une vapeur surchauffée, l'expression

$$U = q + \rho \frac{(u' + \beta)(v - u)}{(u' - u)(v + \beta)}, \qquad (3)$$

où q et ρ ont leurs significations ordinaires, et où u et u' désignent respectivement les volumes du liquide et de la vapeur saturée sèche, à la température t.

On remarquera que cette expression de l'énergie interne ne dépend ni de θ, ni de la fonction arbitraire de t introduite par l'intégration des équations de la Thermodynamique; et qu'il entre seulement une des trois constantes de Clausius. Cela permet de vérifier expérimentalement, d'une manière relativement simple, si un fluide donné peut être considéré comme admettant, avec une approximation suffisante, une équation caractéristique de la forme (2).

Pour cela, après avoir amené ce fluide à l'état de vapeur saturée sèche, à la température t_1, on le surchauffe jusqu'à une certaine température t, en le maintenant sous la pression ϖ_1 de saturation. En même temps, on mesure la chaleur de surchauffe Q et le volume final v. L'équation

$$Q = U - (q_1 + \rho_1) + A\varpi_1 (v - u'_1) \qquad (4)$$

donne alors la valeur finale de l'énergie interne U, et l'on en réduit la constante β, à l'aide de l'équation (3). Si maintenant on recommence un certain nombre de fois cette expérience, en faisant varier les températures t_1 et t, on devra, comme vérification, trouver toujours très sensiblement pour β la même valeur. On pourra ensuite déterminer les deux autres constantes R et α, sans particulariser la fonction θ de la température t, en opérant comme l'a fait M. Sarrau (¹), pour interprêter les expériences de M. Amagat. Enfin, on établira une Table numérique des valeurs de θ en fonction de t, à l'aide de la relation

$$\varpi = \frac{RT}{u' - \alpha} - \frac{T\theta}{(u' + \beta)^2}, \qquad (5)$$

qui n'est autre que l'équation (2), écrite pour le cas de la vapeur saturée sèche.

Il serait, suivant l'auteur, très utile de faire ces essais pour la vapeur d'eau. Regnault n'a pas, en effet, mesuré réellement la chaleur spécifique C de la vapeur d'eau surchauffée, sous pression constante dans des conditions déterminées de température et de pression; mais seulement la valeur moyenne C_m de cet élément, sous la pression de 1^{atm}, pour des intervalles de température dont les limites extrêmes ont relativement peu

(¹) *Comptes rendus*, t. XCIV, p. 639; t. CI, p. 941.

varié. Ses expériences ne prouvent donc pas que C soit une constante, ni même qu'il faille lui conserver dans tous les cas la valeur moyenne 0, 48. Hirn (1) a depuis longtemps exprimé cette opinion, et tout récemment M. le professeur Bach (2) est arrivé à la même conclusion, à la suite d'expériences qui ont donné pour C_m une valeur voisine de 0,60.

L'expression (3) de l'énergie interne donne d'ailleurs, pour la chaleur spécifique sous volume constant, la valeur

$$c = \frac{dq}{dt} + \frac{v - u}{v + \beta}\left[\frac{d\rho}{dt} + (u + \beta)\,\frac{d}{dt}\left(\frac{\rho}{u' - u}\right)\right], \quad (6)$$

d'où l'on passe à celle de C. L'auteur a vérifié à l'aide des Tables de Zeuner que cette valeur de c croît avec la température, dans le cas de la vapeur d'eau surchauffée, et qu'il en est de même pour la valeur correspondante de C, aux environs du point de condensation. On arrive donc à la même conclusion que M. Bach, en supposant que la vapeur d'eau surchauffée admet une équation caractéristique de la forme (2); et il y a là, sinon un argument, du moins une prévention en faveur de cette hypothèse. L'expérience seule pourra élucider la question. »

Sur la loi de recombinaison des ions, par **P. Langevin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 177-179.

I. Les gaz rendus conducteurs de l'électricité justifient, par toutes leurs propriétés, l'hypothèse que les charges disponibles y sont portées par un nombre fini de centres électrisés ou *ions*, les uns positifs, les autres négatifs, ayant tous une même charge égale en valeur absolue à celle que transporte un atome monovalent dans l'électrolyse.

Ces *ions* participent au mouvement général d'agitation thermique des molécules du gaz, et le déplacement moyen de chacun d'eux, nul en l'absence d'un champ électrique extérieur, s'effectue dans le champ X avec la vitesse k_1X dans le sens des lignes de force pour les ions positifs, et k_2X dans le sens opposé pour les ions négatifs. Les coefficients de proportionnalité k_1 et k_2 sont les *mobilités* des ions des deux signes.

L'attraction mutuelle des ions de signes contraires provoque une recombinaison progressive des charges qu'ils transportent.

Si p et n sont les densités en volume des charges portées par les ions positifs et négatifs, la recombinaison obéit à la loi.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dn}{dt} = -\alpha pn$$

α est le *coefficient de recombinaison* indépendant du champ qui existe dans le gaz.

L'auteur a montré antérieurement (1) que l'expression

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{4\pi(k_1 + k_2)}$$

représente le *rapport du nombre des recombinaisons au nombre des collisions entre deux ions de signes contraires*. L'expérience vérifie que, conformément à cette signification, le rapport ε est toujours plus petit que l'unité et tend vers cette valeur quand la pression du gaz augmente.

II. M. Langevin a pu, en suivant de plus près, du point de vue cinétique, le mécanisme de la collision, montrer que le rapport ε doit, aux faibles pressions, *varier proportionnellement au carré de la pression ;* et il a vérifié que les résultats de mesures publiées antérieurement (2) sont en accord avec cette conclusion.

La collision proprement dite entre deux ions de signes contraires commence au moment où, après un dernier choc contre les molécules neutres du gaz, les deux ions en présence peuvent graviter librement l'un autour de l'autre en décrivant des coniques. Soit r_0 leur distance moyenne au moment du dernier choc contre une molécule neutre : cette distance est de l'ordre du chemin moyen d'un ion et varie en raison inverse de la pression.

M. Langevin admet *que la recombinaison a lieu lorsque, dans leur mouvement relatif, les centres des deux ions au moment du périhélie se trouvent à une distance inférieure à une quantité donnée σ*. Si, par exemple, la recombinaison a lieu quand les deux ions viennent effectivement

(1) *Théorie mécanique de la chaleur*, 3e édition, p. 435.

(2) *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, numéro du 17 mai 1902. — *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, numéro de juillet 1902, p. 143.

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. XXVIII, p. 437.

(2) *Loc. cit.*, p. 483.

en contact, la distance σ est la somme des rayons des agglomérations de molécules neutres autour d'un centre chargé qui constituent les ions.

Le rapport du nombre des orbites relatives qui satisfont à cette condition au nombre total des collisions fournit le rapport ε.

Si e est la charge d'un ion, W son énergie cinétique moyenne, fonction seulement de la température, on obtient pour le terme principal dans la valeur de ε aux basses pressions

$$m\left(1+\frac{e^2}{\sigma W}\right)\frac{\sigma^2}{r_0^2}, \qquad (1)$$

m est un coefficient numérique voisin de $\frac{1}{2}$ fourni par la théorie cinétique.

La seule quantité variable avec la pression étant r_0, l'expression (1) est *proportionnelle au carré de la pression*.

III. Le tableau suivant montre que les valeurs expérimentales de ε pour l'air et le gaz carbonique satisfont bien à cette condition que le quotient $\frac{\varepsilon}{p^2}$ reste constant aux pressions inférieures à la pression atmosphérique :

Air			CO_2		
p en atm.	ε	$\frac{\varepsilon}{p^2}$	p en atm.	ε	$\frac{\varepsilon}{p^2}$
0,20	0,01	0,25	0,50	0,13	0,52
0,49	0,06	0,25	0,74	0,27	0,50
1	0,27	0,27	1	0,51	0,51

De plus, il est remarquable que l'expression (1) peut être calculée au moyen des données relatives aux grandeurs moléculaires et qu'elle fournit un résultat de l'ordre des valeurs expérimentales trouvées pour ε.

» e, charge d'un ion, est voisin de 4×10^{-10} unités électrostatiques C.G.S. ; le quotient $\frac{e}{W}$ est connu en toute certitude : en effet, si ϖ est la pression du gaz, M le nombre des molécules par unité de volume, la théorie cinétique donne

$$\varpi=\frac{2}{3}MW$$

et les lois de l'électrolyse, à la température ordinaire,

$$1,3\times 10^4\varpi = Me,$$

d'où, par division,

$$\frac{e}{W}=0,87\times 10^4.$$

σ pris égal à la somme des rayons de deux ions est de l'ordre 10^{-7} ; r_0 pris égal au chemin moyen d'un ion est. dans l'air sous les conditions normales, voisin de 10^{-6}. D'où pour l'expression (1), en prenant $m=\frac{1}{2}$,

$$\varepsilon = 0,20,$$

nombre tout à fait d'accord avec la valeur expérimentale 0,27.

IV. En combinant la loi que nous venons d'obtenir avec la loi de proportionnalité inverse des mobilités k_1 et k_2 à la pression, on obtient ce résultat que, aux pressions inférieures à la pression atmosphérique, *le coefficient de recombinaison α est proportionnel à la pression*.

» Ce résultat indiqué en mars dernier dans le Cours de Physique du Collège de France de M. Langevin a été utilisé par M. Ch. Nordmann pour obtenir les intéressants résultats de Physique cosmique qui font l'objet d'une Note récente ([1]). »

Essais sur la commutation dans les dynamos à courant continu, par **Iliovici**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 179-182.

Dans l'étude expérimentale de la commutation il est intéressant d'étudier les questions suivantes :

1° Variation de l'intensité du courant dans la section en court-circuit, pendant la durée de la commutation ;

2° Variation de la force électromotrice induite dans la section ;

3° Variation de la chute de tension entre un balai et une lame du collecteur, pendant le temps où la lame touche le balai ;

4° Variation de la chute de tension entre un balai et le collecteur, le long du balai, pour une position déterminée du collecteur (et cela pour plusieurs positions de celui-ci).

Ces questions doivent être étudiées pour divers régimes de fonctionnement de la dynamo : en faisant varier la vitesse de rotation, la posi-

([1]) *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 15 juin 1903, p. 1430., *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 79, 11 juillet 1903.

tion et la pression des balais, l'excitation, l'intensité du courant extérieur, etc.

Les expériences ont été faites sur une dynamo tétrapolaire de 20 kilowatts, 110 volts 900 tours : minute, enroulement tambour imbriqué ; un balai couvrant deux lames.

1° M. Iliovici a indiqué, dans une Note précédente (¹), deux méthodes pour la mesure de l'intensité.

2° Pour étudier la variation de la force électromotrice induite dans la section étudiée, je relève, par la méthode Joubert, la force électromotrice induite dans la bobine de fil fin dont il a été parlé dans la Note citée. C'est très approximativement la force électromotrice induite dans la bobine de l'induit.

Il résulterait des courbes obtenues que le terme $L \frac{di}{dt} + \Sigma M \frac{di_k}{dt}$, qui provient du flux de self-induction et d'induction mutuelle, joue un rôle prépondérant, lorsque la dynamo est parcourue par un fort courant.

3° Pour étudier la variation de la chute de tension entre un balai et une lame du collecteur, on relie la lame à une bague sur laquelle frotte un balai, et l'on relève par la méthode Joubert la courbe de différence de potentiel entre ce balai et le point de la machine le plus rapproché du milieu de la lame considérée.

L'auteur a obtenu des courbes pour diverses positions des balais. Lorsque les balais sont dans la ligne neutre, en faisant varier l'intensité du courant dans la machine, la chute de tension, qui ne varie pas beaucoup pour les positions pour lesquelles la lame est couverte en entier par le balai, augmente rapidement à la sortie de la lame de sous le balai, avec l'augmentation du courant, c'est-à-dire avec la tendance à la production d'étincelles (²).

En déplaçant les balais, les chutes de tension à l'entrée et à la sortie varient dans le sens contraire : la chute de tension à la sortie diminue lorsqu'on avance les balais dans le sens de rotation de la machine. Le contraire arrive lorsqu'on déplace les balais dans le sens contraire ;

4° Pour obtenir la distribution de la chute de tension sous le balai pour une position déterminée du collecteur, on emploie la méthode suivante :

Un petit balai très mince est monté sur une couronne graduée et frotte sur le collecteur. Ce balai et le point du balai de la machine le plus rapproché de son point de contact avec le collecteur sont réunis aux balais d'un contact tournant. Si l'on donne à ces balais une position fixe et que l'on déplace le balai auxiliaire le long du collecteur en face du balai de la machine, on relève, à l'aide du contact tournant la courbe de la chute de tension sous le balai pour une position déterminée du collecteur.

En donnant aux balais du contact tournant une série de positions, on obtient une série de courbes qui nous montrent la distribution de la chute de tension entre balai et collecteur pour une série de positions de celui-ci. Pour les positions intermédiaires on obtient les courbes par interpolation.

Ceci donne encore une méthode pour l'étude de la variation de l'intensité du courant dans une spire en court-circuit, méthode plus longue et moins précise que les précédentes, mais qui a l'avantage de la simplicité du montage. De plus elle donne l'intensité du courant au même instant dans toutes les bobines court circuitées en même temps.

En effet, par l'application des lois de Kirchhoff, on arrive à la formule $i = I - \int_0^s \delta ds$, ou $i = I - l \int_0^{x_1} \delta dx$, l étant la longueur d'une lame couverte par le balai, x_1 l'arc de la circonférence du collecteur entre l'entrée du balai et la fin de la dernière lame qui précède la spire en court-circuit parcourue par le courant i, I le courant dans une branche de l'induit, et δ la densité sous le balai au point situé à la distance x de l'entrée du balai pour la position considérée du collecteur.

Or, on a $e = a + b\delta$, e étant la chute de tension entre balai et collecteur au point où la densité est δ, a et b des constantes faciles à déterminer.

On a donc

$$i = I - \frac{l}{b} \int_0^{x_1} (e - a)\, dx \text{ (¹)}$$

(¹) *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 113, 18 juillet 1903.

(²) A l'entrée la chute de tension diminue d'abord, puis change de signe et augmente en valeur absolue.

(¹) Voir aussi : ARNOLD, *Untersuchung der Kommutation* (*Elektrotechnische Zeitschrift* du 18 juin 1903).

La courbe de i peut donc se déduire des courbes données par la méthode 4°.

On peut aussi déduire i des courbes données par le point 3°.

Influence de la température sur le dichroïsme des liqueurs mixtes et vérification de la loi des indices, par **M. Georges Meslin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 182-183.

Parmi les liqueurs signalées par l'auteur comme présentant le dichroïsme dans le champ magnétique, ou seulement sous l'influence de la pesanteur (dichroïsme spontané) [1], il y en a un certain nombre dans lesquelles le liquide a un indice qui ne dépasse que d'une très faible quantité (0,02 par exemple) l'indice moyen du solide; ces liqueurs ont paru éminemment propres à fournir une vérification de la loi des indices, en vertu de laquelle le signe du dichroïsme change avec le signe de la différence des réfringences des deux corps en présence. En effet, une élévation de température agit différemment sur les indices du solide et du liquide que l'on associe, atténue plus fortement ce dernier et peut le rendre inférieur à l'indice du solide, auquel cas il devra y avoir changement du signe du dichroïsme.

SYNDICAT DES USINES D'ÉLECTRICITÉ

Congrès annuel du 13 juin 1903.

Ainsi qu'il a été dit dans le *Supplément* du 25 juillet, l'Assemblée générale annuelle du Syndicat des Usines d'Electricité a été suivie d'un Congrès ; nous donnons ci-dessous quelques extraits de deux de ces communications d'après le dernier fascicule paru du *Bulletin des Usines d'électricité*.

Application de la traction par trôlet automoteur à l'extension des moyens de communications dans les endroits pourvus de stations centrales, par **R. Koechlin**.

Après quelques considérations générales sur les automobiles électriques et la description du système Lombard-Gérin à prise de courant automobile déjà décrit ici [2], l'auteur donne quelques indications sur les applications actuelles et les résultats d'exploitation de ce système.

« Ce système est, dit M. Koechlin, aujourd'hui consacré par la pratique par plusieurs lignes dont l'une, de Fontainebleau à Samois [1] est en exploitation depuis *deux années*. Cette ligne relie Fontainebleau à la petite localité de Samois, située à 4 km. Le service s'y fait avec une voiture de 22 places. C'est la station de tramways électriques qui fournit le courant nécessaire.

» A Montauban, un service urbain est établi avec 6 voitures dont deux de réserve depuis le commencement de l'année.

» Une autre application très intéressante du système est faite à Marseille par la « Compagnie Française des tramways » sur la ligne de banlieue de la Croix-Rouge à Allauch. Cette ligne de 3 km franchit des rampes atteignant 8 p. 100.

» On conçoit les services que peut rendre ce mode de traction dans les endroits déjà dotés de stations centrales, où il permet d'établir des moyens de transport très économiques aussi bien comme frais de premier établissement que comme frais d'exploitation. C'est un intermédiaire entre la diligence et le chemin de fer ou tramway sur rails dont l'établissement est beaucoup trop onéreux lorsque l'intensité du trafic n'est pas suffisante.

» Il est facile de s'en rendre compte si l'on considère que, le coût d'établissement d'une voie est de 30 000 fr par kilomètre, soit au taux de 6 p. 100 comme intérêt et amortissement une dépense de 1 800 fr par an et par kilomètre. Si l'on y ajoute l'entretien de la voie et de sa zone de chaussée qui est au minimum de 600 fr, on arrivera à une dépense de 2 400 fr, ou à 6,60 fr par jour et par kilomètre.

» Rapportons cette dépense par voiture ou train kilomètre, en prenant des cas extrêmes.

» Si le nombre de voyages journaliers est de 3 par jour dans chaque sens, comme dans le cas d'un chemin de fer d'intérêt local, cela fait 6 km parcourus par kilomètre de ligne, soit 1,10 fr par train-kilomètre comme dépense afférente à la voie seule.

» Pour une grande fréquence de départs, par exemple 60 par jour, ce qui correspond à un

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 230, 8 août 1903.

[2] *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. CL, 22 juin 1901.

[1] *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 27, 7 avril 1900.

service de 10 minutes, pendant 10 heures, soit 120 km parcourus par kilomètre, la dépense n'est plus que de 5 centimes et demi par jour et par *train-kilomètre*. Ces chiffres montrent que la voie ne peut être utilisée que pour un grand trafic et que le chemin de fer d'intérêt local ne pourrait se faire sans subvention de l'Etat. Il sera certainement aussi possible d'obtenir des subventions des départements pour des lignes à trôlet automoteur.

» Voici maintenant quelques renseignements sur les frais d'établissement et d'exploitation d'une ligne à trôlet automoteur.

» Les frais d'établissement de la ligne, y compris redevance pour brevets sont environ de 10 000 fr par kilomètre.

» Le prix d'un omnibus de 20 places muni de moteurs de 15 chevaux et pouvant franchir des rampes de 8 p. 100 de 17 000 fr environ.

» Son poids à vide est de 3 000 kg. La vitesse de marche est de 12 à 14 km.

» La dépense d'énergie d'une voiture automobile à trôlet automoteur est, contrairement à ce que l'on pourrait supposer, environ la même que celle d'un tramway sur rails et même inférieure sitôt que la ligne se trouve en rampe, et voici pourquoi :

» La voiture à trôlet automoteur ne pèse en moyenne que quatre tonnes, alors que pour des raisons de stabilité on ne peut guère descendre au-dessous de 8 tonnes pour des voitures de tramways. Il en résulte que si en palier dans le cas de traction sur route la consommation par *tonne-kilomètre* atteint le double ou le triple de celle sur rails, elle devient par *voiture-kilomètre* sensiblement la même dans les deux cas. Sur les routes en pente, l'automobile à trôlet bénéficiant de son moindre poids a une consommation d'énergie d'autant moindre par rapport à la voiture sur rails que la pente est plus forte.

» Les frais de consommation sur les lignes en exploitation varient suivant les pentes et suivant l'état de la route entre 500 et 800 watts par voiture-kilomètre.

» La dépense par voiture en service et par jour d'une ligne à trôlet s'établit comme suit :

Conducteur, 1 homme par voiture.	4 fr
Courant 0,700 kw. par voiture-kilomètre. En supposant que la voiture fasse par jour 80 km, la dépense du courant sera de 56 kw. à 0,20 fr.	11,20 fr
Personnel remise	4 »
Matériaux d'entretien	5 »
Total sans frais généraux . . .	24,20 fr

soit par voiture-kilomètre 0,30 fr.

» Ces frais seront naturellement moindres dans le cas de stations hydrauliques et dans le cas d'un grand nombre de voitures en service. Le courant à employer est comme pour les tramways du courant continu de 500 à 600 volts. Cette tension est peu usitée dans les stations d'éclairage, mais il est facile d'arriver suivant les cas à des solutions simples et économiques pour l'obtenir.

» Dans le cas de stations centrales à courant continu, il suffira de parfaire à l'insuffisance de tension en mettant une nouvelle dynamo en série avec la dynamo d'éclairage. Dans des stations centrales à courant alternatif, on pourra actionner avec la *même machine* à vapeur *une dynamo* à courant continu. Celle-ci pourra être combinée à une batterie d'accumulateurs lui permettant de fonctionner à pleine charge et de donner le courant au moment où la force de la machine à vapeur est absorbée par la lumière. S'il s'agit au contraire d'un grand réseau, on pourra établir des lignes à haute tension sur les mêmes poteaux que la ligne de trôlet avec des stations de transformation tous les 12 km environ, en attendant que les progrès réalisés permettent l'adoption du courant alternatif à la traction. Le système Lombard-Gerin est un excellent moyen de se rendre compte du trafic. Dès que celui-ci justifie l'établissement d'une voie ferrée, il est facile d'y substituer le tramway et de reporter la voiture sur d'autres lignes. »

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXXVI — Samedi 22 Août 1903. — 10e Année. — N° 34

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIAGRAMME RIGOUREUX DU MOTEUR ASYNCHRONE POLYPHASÉ

Nous nous proposons de donner dans ce qui suit sous une forme générale le diagramme du fonctionnement d'un moteur asynchrone à champ tournant, en tenant compte rigoureusement de la résistance primaire et des pertes dans le fer.

Notations. — Soient par circuit magnétique élémentaire d'un moteur asynchrone :

F_r le champ utile embrassant communément les deux systèmes d'enroulements,

F'_d et F''_d les champs de dispersion primaire et secondaire, par suite $F_r + F'_d$ et $F_r + F''_d$ les champs totaux primaire et secondaire réellement engendrés, ensuite :

e la tension instantanée extérieure par phase,

i_1, i_2 les courants instantanés primaire et secondaire,

r_1, r_2 les résistances ohmiques et n_1, n_2 les nombres de spires par phase des deux systèmes d'enroulements,

enfin : μ'_d, μ''_d, μ_1, μ_2 les coefficients de force électromotrice spécifiques des enroulements primaire et secondaire par rapport aux champs F'_d, F''_d et F_r respectivement.

Equations fondamentales. — En désignant par t le temps, nous pourrons écrire les équations fondamentales relatives aux deux systèmes, l'induit étant fermé :

$$e = i_1 r_1 + \frac{d(F'_d \mu'_d n_1)}{dt} + \frac{d(F_r \mu_1 n_1)}{dt} \qquad (1)$$

$$0 = i_2 r_2 + \frac{d(F''_d \mu''_d n_2)}{dt} + \frac{d(F_r \mu_2 n_2)}{dt} \qquad (2)$$

Les origines des temps sont supposées solidaires avec leurs systèmes respectifs.

Champ commun F_r. — On démontre d'abord, tant que la saturation magnétique n'atteint

**

dans aucun endroit du circuit magnétique des valeurs exagérées, que le champ utile F_r ne dépend que des ampèretours résultants. Les champs totaux ne varient d'ailleurs que très peu durant le fonctionnement normal du moteur ; la réluctance magnétique $\mathcal{R}$ du circuit établissant le rapport quantitatif entre F_r et les ampèretours magnétisants, peut donc être considérée, même avec des saturations notables, comme sensiblement constante dans la pluralité des cas.

En ce qui concerne les pertes dans le fer, nous nous contenterons d'envisager globalement le déphasage entre le flux d'induction F_r et les ampèretours résultants, en douant simplement F_r d'un angle de retard tenant compte, en plus de l'hystérésis du circuit, de l'effet retardateur des courants de Foucault dans les tôles du stator. Nous symboliserons ce rapport en posant :

$$F_r = \frac{4\pi}{\mathcal{R}} \left(\overline{n_1 i_1 \nu_1 + n_2 i_2 \nu_2} \right),$$

ν_1, ν_2 étant les coefficients de force magnétomotrice spécifiques afférents aux deux systèmes d'enroulements et dépendant de la distribution des conducteurs et du nombre de phases par système.

Il importe de noter que la vitesse angulaire du rotor est sans influence sur l'angle de retard magnétique de F_r, tant que le synchronisme n'est pas atteint, et que l'on ne tient compte que de l'*hystérésis* dans l'induit. Au passage par le synchronisme cependant le couple provenant de l'hystérésis rotorique, jusqu'alors constant, change de sens en passant par zéro. En lisant les watts primaires avant et après le passage (le rotor étant actionné séparément à circuit ouvert), on obtient dans la différence des deux lectures la valeur double de la puissance mise en jeu par l'hystérésis rotorique proprement dite et qui correspond aux pertes hystérétiques dans le rotor à la fréquence normale.

Champs de dispersion. — On a en général le souci d'opposer aux champs de dispersion, dont le développement suit en partie le circuit principal, le plus d'entrefer possible, de sorte que nous pourrons considérer les champs de fuite comme franchement proportionnels et en phase avec leurs forces magnétomotrices respectives. Si nous désignons par l_1 et l_2 les coefficients d'induction primaire et secondaire rapportés aux circuits de fuite, nous aurons donc simplement :

$$F'_d = \frac{l_1}{\mu'_d n_1} i_1 \; ; \quad F''_d = \frac{l_2}{\mu''_d n_2} i_2 \; .$$

Représentation vectorielle des équations fondamentales. — Posons, pour simplifier les écritures :

$$\frac{4\pi}{\mathcal{R}} n_1^2 \mu_1 \nu_1 = \mathfrak{L}_1 \; ; \quad \frac{4\pi}{\mathcal{R}} n_1 n_2 \mu_1 \nu'_2 = \mathfrak{M}_1 \; ; \quad \frac{4\pi}{\mathcal{R}} n_2^2 \mu_2 \nu_2 = \mathfrak{L}_2 \; ; \quad \frac{4\pi}{\mathcal{R}} n_1 n_2 \mu_2 \nu'_1 = \mathfrak{M}_2 .$$

Ensuite, en admettant que toutes les grandeurs alternatives suivent la loi sinusoïdale, ou tout au moins qu'on peut les remplacer par des sinusoïdes équivalentes, les équations fondamentales (1) et (2) se présenteront dans la notation imaginaire, toutes réductions faites, sous la forme :

$$E = \overline{J}_1 r_1 + i l_1 \omega_1 J_1 + i \mathfrak{L}_1 \omega_1 \overline{J}_1 e^{-i\varepsilon} + i \mathfrak{M}_1 \omega_1 \overline{J}_2 e^{-i\varepsilon}. \qquad (3)$$

$$0 = \overline{J}_2 r_2 + i l_2 (\omega_1 - \omega_2) \overline{J}_2 + i \mathfrak{L}_2 (\omega_1 - \omega_2) \overline{J}_2 e^{-i\varepsilon} + i \mathfrak{M}_2 (\omega_1 - \omega_2) \overline{J}_1 e^{-i\varepsilon}, \qquad (4)$$

i étant le symbole imaginaire $\sqrt{-1}$, ω_1 et $(\omega_1 - \omega_2)$ les vitesses angulaires polaires dans les deux systèmes, $\overline{J}_1$ et $\overline{J}_2$ les vecteurs des courants primaire et secondaire rapportés au

vecteur E de la tension extérieure du moteur comme axe polaire, enfin v l'angle de retard de F_r par rapport aux ampèretours résultants.

Soit encore : $r_1 + i l_1 \omega_1 + i \mathfrak{L}_1 \omega_1 e^{-iv} = \mu' i \mathfrak{L}_1 \omega_1 e^{-i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0\right)}$ l'impédance primaire imaginaire.

Nous tirons de (3) pour $\overline{J}_2 = 0$, l'induit étant ouvert, le courant primaire à vide :

$$\overline{J}_{0.1} = \frac{E}{\mu' \omega_1 \mathfrak{L}_1} e^{-i\varphi_0} = \frac{E}{i\mu'\omega_1\mathfrak{L}_1} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0\right)} = J_{0.1} e^{-i\varphi_0},$$

φ_0 désignant l'angle de retard du courant à vide sur la tension aux bornes E_1, et $J_{0,1}$ la valeur absolue de $\overline{J_{0,1}}$.

La figure 1 représente en même temps le graphique relatif à l'impédance primaire.

Résolvons maintenant en toute généralité (3) et (4) par rapport à $\overline{J}_1$ puis par rapport à $\overline{J}_2$ et dégageons du dénominateur commun

$$\mu' \frac{r_2}{\mathfrak{L}_2(\omega_1 - \omega_2)} + \mu' i \frac{l_2}{\mathfrak{L}_2} + i \frac{l_1}{\mathfrak{L}_1} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)} + \frac{r_1}{\mathfrak{L}_1 \omega_1} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)}$$

représentant en quelque sorte le coefficient de l'impédance de fuite totale, les termes indépendants de ω_2 en posant :

$$\mu' i \frac{l_2}{\mathfrak{L}_2} + i \frac{l_1}{\mathfrak{L}_1} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)} + \frac{r_1}{\mathfrak{L}_1 \omega_1} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)} = i\Delta e^{-i\delta}$$

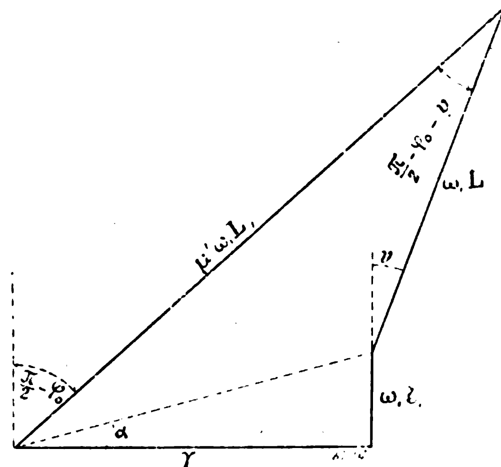


Fig. 1.

définissons en outre par :

$$d' = \frac{l_1}{\mathfrak{L}_1} \qquad \text{et} \qquad d'' = \frac{l_2}{\mathfrak{L}_2}$$

les coefficients de fuite primaire et secondaire, et désignons par

$$i d'_\mu e^{-i\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)} = i \frac{l_1}{\mathfrak{L}_1 \mu_1} + \frac{r_1}{\mathfrak{L}_1 \mu_1 \omega_1}$$

le coefficient d'impédance de fuite primaire, ou la chute de voltage totale dans le stator, de sorte que nous aurons aussi :

$$i\Delta e^{-i\delta} = \mu' \left(i d'' + i d'_\mu e^{i(\alpha - \varphi_0 - v)}\right);$$

posons encore :

$$\operatorname{tg}\xi = \frac{\Delta \cos\delta}{\frac{r_2}{\mu' \mathfrak{L}_2(\omega_1 - \omega_2)} + \Delta \sin\delta}.$$

et il viendra finalement pour $\overline{J}_1$ et $\overline{J}_2$ en introduisant $\overline{J}_{0,1}$:

$$\overline{J}_1 = \overline{J}_{0.1} + \overline{J}_{0.1}\, i e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)} \frac{e^{-i(\xi + v)}}{\left|\frac{r_2}{\mu' \mathfrak{L}_2(\omega_1 - \omega_2)} + i\Delta e^{-i\delta}\right|} = \overline{J}_{0.1} + \overline{J}_{0.1}\, i e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)} \frac{\sin\xi}{\Delta\cos\delta} e^{-i(\xi + v)} \qquad (5)$$

$$\overline{J}_2 = -\overline{J}_{0.1}\, i \frac{\mathfrak{M}_2}{\mathfrak{L}_2} \mu' \frac{e^{-i(\xi + v)}}{\left|\frac{r_2}{\mu' \mathfrak{L}_2(\omega_1 - \omega_2)} + i\Delta e^{-i\delta}\right|} = -\overline{J}_{0.1}\, i \frac{\mathfrak{M}_2}{\mathfrak{L}_2} \mu' \frac{\sin\xi}{\Delta\cos\delta} e^{-i(\xi + v)} \qquad (6)$$

$$\overline{J}_1 = \overline{J}_{0.1} - \overline{J}_2 e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)} \frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}_2} \frac{1}{\mu'} \qquad (7)$$

$\left|\frac{r_2}{\mu' \mathfrak{L}_2(\omega_1 - \omega_2)} + i\Delta e^{-i\delta}\right|$ étant la valeur absolue de $\frac{r_2}{\mu' \mathfrak{L}_1(\omega_1 - \omega_2)} + i\Delta e^{-i\delta}$

Épure représentative des courants primaire et secondaire. — Passons à la représentation graphique des équations vectorielles précédentes et traçons d'abord le vecteur $\overline{J}_{0,1} = \overline{OA}$ en grandeur et direction en rapportant tout le diagramme au vecteur OE de la tension extérieure comme axe fixe (fig. 2). Menons ensuite par l'extrémité A du courant à vide une ligne droite faisant un angle $\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - 2v\right)$ avec $\overline{J}_{0,1} = \overline{OA}$ et portons-y $\frac{J_{0,1}}{\Delta \cos \delta} = AB$, ce qui revient à dire en d'autres termes, qu'on ajoute au vecteur $\overline{J}_{0,1}$ le vecteur $\overline{J}_{0,1} \frac{e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - 2v\right)}}{\Delta \cos \delta} = \overline{AB}$; le cercle décrit sur AB comme diamètre nous représentera alors le lieu géométrique de l'extrémité du vecteur primaire $\overline{J}_1$.

En effet, il suffira de mener par A une droite faisant un angle $\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right)$ avec AB ou bien $\xi - 2\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)$ avec OE, cette droite coupant le cercle C en C, pour reconnaître en $\overline{OC} = \overline{J}_{0,1} + \overline{AC} = \overline{J}_{0,1} + \overline{J}_{0,1} \frac{\sin \xi}{\Delta \cos \delta} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - 2v\right)} . e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right)}$ le vecteur représentatif de $\overline{J}_1$, coordonné à ξ.

On peut indiquer immédiatement, si l'une des extrémités du vecteur $\overline{J}_2$ se déplace sur la circonférence C, le lieu de l'autre extrémité du courant secondaire, en remarquant que le rapport vectoriel entre $\overline{AC}$ et $\overline{J}_2$ est constant et égal à $\mu' e^{-i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)}$.

Menons donc par A une seconde droite faisant avec $\overline{OA}$ un angle $-v$ puis abaissons de son point d'intersection D avec la circonférence C une perpendiculaire sur OE jusqu'à ce qu'elle rencontre le même cercle en P, et déterminons enfin sur la prolongation de DA un point E tel que DE $= \mu'$ PD ; le cercle c', passant par APE, décrit sur EP comme diamètre, représentera alors le lieu de la seconde extrémité de $\overline{J}_2$.

Les angles périphériques, naissant de la corde commune AP des deux cercles C et c', ont pour valeur dans la circonférence C : $\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)$ et dans la circonférence c' : $(\varphi_0 - \alpha)$; en faisant passer par le point arbitraire du cercle C et P une droite jusqu'à ce qu'elle rencontre le cercle c' en F, on obtient, en remarquant que

$$<FCA = \frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v, \qquad <AFC = \varphi_0 - \alpha$$

et

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{CF}} = \frac{1}{\mu'} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)}, \quad \text{en} \quad \overline{CF} \frac{\mathfrak{M}_2}{\mathfrak{L}_2} = \overline{J}_2$$

le courant secondaire et en P le point fixe par où passent tous les $\overline{J}_2$.

On peut également déterminer le cercle c' en partant de

$$i \Delta e^{-i\delta} = \mu' \left(id'' + id'_\mu e^{i(\alpha - \varphi_0 - v)}\right)$$

Si nous portons par exemple sur $\overline{J}_{0,1} = \overline{OA}$ dans une échelle quelconque $\overline{OG'} = d''$, en ajoutant avec une inclinaison $\alpha - \varphi_0 - v$ contre $\overline{J}_{0,1}$, G' P'' $= d'_\mu$, la ligne de fermeture P''O fera avec OA un angle $<$P''OA $= \delta$. La perpendiculaire en A sur $\overline{J}_{0,1}$ nous donne sur OP'' le point d'intersection P' et la parallèle par P' à G'P'' coupera $\overline{J}_{0,1}$ en G, seconde extrémité du diamètre P'G du cercle c'.

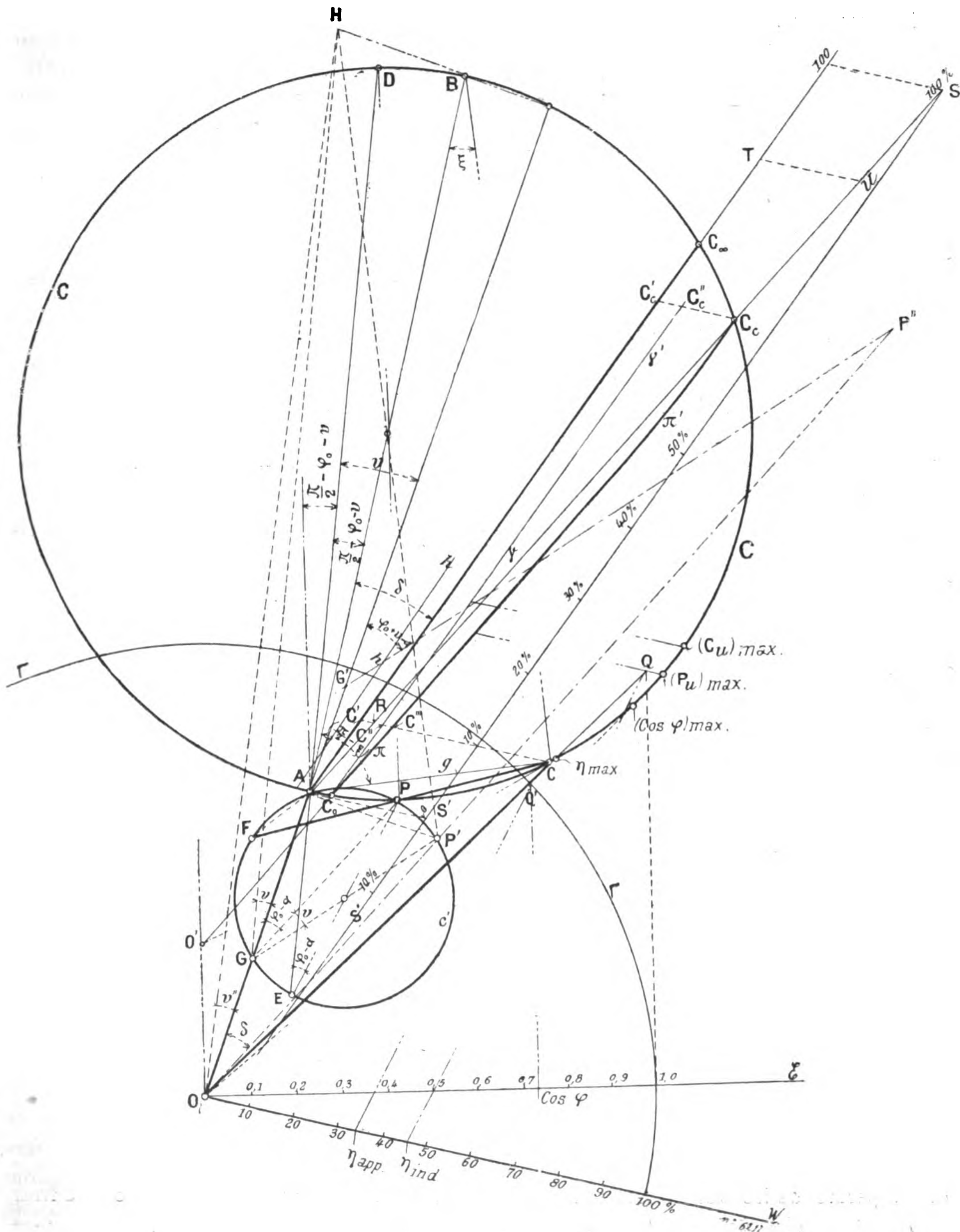


Fig. 2.

Finalement on obtient aussi le point G en faisant simplement

$$\frac{OG}{OA} = \frac{d''\mu'}{\Delta \cos \delta}$$

Par comparaison avec le graphique (fig. 1), relatif à l'impédance primaire, on obtient pour le rapport des diamètres des deux cercles C et c'

$$\frac{EP}{DP} = \mu' d'_{\mu} ;$$

ce rapport se trouve donc être indépendant de la dispersion magnétique secondaire.

Nous allons encore exposer pour la grandeur caractéristique Δ une forme approximative, plus simple, qui se prête à la construction de δ sans la connaissance explicite de d' et d''.

En posant pour les inductances imaginaires primaire et secondaire

$$il_1\omega_1 + i\mathfrak{L}_1\omega_1 e^{-iv} = \lambda' i\mathfrak{L}_1\omega_1 e^{-iv'}$$

$$il_2(\omega_1 - \omega_2) + i\mathfrak{L}_2(\omega_1 - \omega_2) e^{-iv} = \lambda'' i\mathfrak{L}_2(\omega_1 - \omega_2) e^{-iv''},$$

nous pouvons écrire avec les approximations $d'd'' = d'd'' e^{-iv}$ et $v'' = v = v'$ aux termes du troisième rang près :

$$i\Delta e^{-i\delta} = \lambda''\mu' \left\{ id + \frac{r_1}{\mu'\mathfrak{L}_1\omega_1} \right\} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)} = \lambda''\lambda' \left\{ i\sigma + \frac{r_1}{\lambda'\mathfrak{L}_1\omega_1} \right\} e^{i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)}$$

où

$$d = \frac{1}{\lambda''\mu'}(d' + d'' + d'd') \quad \text{et} \quad \sigma = \frac{1}{\lambda'\lambda''}(d' + d'' + d'd''),$$

σ étant d'ailleurs le coefficient de dispersion total introduit dans la théorie des moteurs asynchrones par MM. Behn-Eschenburg et Blondel. Si nous portons sur AD dans une échelle convenable la valeur de d et perpendiculairement à AD, à la même échelle, la chute de voltage primaire $\frac{r_1}{\mu'\mathfrak{L}_1\omega_1}$, la ligne de fermeture fera avec le diamètre AB du cercle C l'angle δ cherché. D'autre part, si nous désignons par H le point d'intersection de la droite menée par l'origine O, et faisant un angle v'' avec $\bar{J}_{0,1}$, avec la perpendiculaire abaissée de B sur $\bar{J}_{0,1}$, nous aurons immédiatement :

$$GH = ED = \mu' AB = \mu' \frac{OA}{\Delta \cos \delta},$$

et puisque :

$$OH = \lambda'' GH = \lambda''\mu' \frac{OA}{\lambda''\mu' \left| id + \frac{r_1}{\mu'\omega_1\mathfrak{L}_1} \right| \cos \delta},$$

nous aurons aussi

$$\left| id + \frac{r_1}{\mu'\omega_1\mathfrak{L}_1} \right| \cos \delta = \frac{OA}{OH}.$$

respectivement :

$$\left| i\sigma + \frac{r_1}{\lambda_1\omega_1\mathfrak{L}_1} \right| \cos \delta = \frac{\mu'}{\lambda'} \frac{OA}{OH},$$

ce qui permet de trouver directement d ou σ, avec une épure donnée, si $\frac{r_1}{\mu'\mathfrak{L}_1\omega_1}$ est connu.

Représentation des grandeurs mécaniques : couple moteur, puissance utile, rendement industriel, etc., dans l'épure des courants. Soient $\mathfrak{P}$ le nombre des pôles, p et p'' le nombre

de phases primaire et secondaire, k, m les indices dont nous affectons les quantités se rapportant à ces phases.

Nous obtenons pour le travail élémentaire des deux systèmes primaire et secondaire, si nous multiplions par $i_1 dt$ et $i_2 dt$ respectivement les équations élémentaires et si nous faisons la somme des produits, en remarquant d'ailleurs que les termes relatifs aux champs de fuite s'annulent identiquement :

$$Pdt = P'_{Cu}dt + P''_{Cu}dt + \frac{\varphi}{2}\sum_{p'} i_{k,1}\frac{d}{dt}\left[\frac{4\pi}{\mathcal{R}}\left(\overline{n_1 i_1 v_1 + n_2 i_2 v_2}\right)_k \mu_1 n_1\right]dt$$
$$+\frac{\varphi}{2}\sum_{p''} i_{m,2}\frac{d}{dt}\left[\frac{4\pi}{\mathcal{R}}\left(\overline{n_1 i_1 v_1 + n_2 i_2 v_2}\right)_m \mu_2 n_2\right]dt,$$

P étant la puissance totale absorbée par le moteur, $P'_{Cu}\,dt$ et $P''_{Cu}\,dt$ l'énergie transformée en chaleur Joule pendant l'élément de temps dt dans les enroulements primaire et secondaire. Il importe de noter d'ailleurs que les grandeurs alternatives sous $\Sigma_{p'}$ et $\Sigma_{p''}$, ont respectivement ω_1 et $\omega_1 - \omega_2$ comme vitesse angulaire.

On sait que les sommes de l'équation précédente peuvent être rendues par des intégrales définies qui, par un groupement nouveau, permettent, tout en intégrant, de mettre la puissance absorbée sous la forme

$$P = P'_{Cu} + P''_{Cu} + \varphi\int_0^1\left(n_1 i_1 \mu_1\frac{p'}{2} + n_2 i_2 \mu_2\frac{p''}{2}\right)\frac{d}{dt}\left[\frac{4\pi}{\mathcal{R}}\left(\overline{n_1 i_1 v_1 + n_2 i_2 v_2}\right)\right]dt$$
$$-\frac{\omega_2}{\omega_1}\varphi\int_0^1 n_2 i_2 \mu_2\frac{p''}{2}\frac{d}{dt}\left[\frac{4\pi}{\mathcal{R}}\left(\overline{n_1 i_1 v_1 + n_2 i_2 v_2}\right)\right]dt.$$

L'avant-dernier terme est de la forme $\int_0^1 (in)_r dF_r$ et représente évidemment les pertes totales dans le fer majorées d'une quantité $\omega_2 C''_{fe}$, C''_{fe} étant le couple provenant de l'hystérésis rotorique.

Si nous désignons encore par C_0 le couple tenant compte de la ventilation et de la friction du moteur, le couple moteur utile C_u, disponible à l'arbre du moteur, pourra s'écrire :

$$C_u = C''_{fe} - C_0 - \frac{\varphi}{\omega_1}\int_0^1 n_2 i_2 \mu_2\frac{p''}{2}\frac{d}{dt}\left[\frac{4\pi}{\mathcal{R}}\left(\overline{n_1 i_1 v_1 + n_2 i_2 v_2}\right)\right]dt,$$

ce qui était évident *a priori*.

Remarquons que dans les transformations précédentes toutes les intégrales ont été rapportées au système primaire.

On obtient pour l'intégrale dans l'équation précédente, en y substituant la valeur de J_1 tirée de l'équation (4)

$$\frac{\varphi}{2}\frac{p''}{2}J^2_2\frac{r_2}{\omega_1 - \omega_2}.$$

Si maintenant on rapproche l'équation (6) de l'expression donnée pour $tg\xi$, on trouve pour

$$J_2\frac{r_2}{\omega_1 - \omega_2} = J_2\frac{\Delta\cos\delta}{\mu'\sin\xi}\mathcal{L}_2\left\{\cos\xi - \sin\xi\,tg\delta\right\} = -J_{0,1}\,\mathfrak{M}_2(\cos\xi - \sin\xi\,tg\delta).$$

et, pour le couple moteur utile

$$C_u = C''_{fe} - C_0 - \frac{\varphi}{2}\frac{p''}{2}J_{0,1}J_2(\cos\xi - \sin\xi\,tg\delta)\,\mathfrak{M}_2$$

et pour le glissement

$$g = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{r_2 \mu'}{\omega_1 \mathfrak{L}_2 \Delta} \frac{\frac{J_2}{\mu'} \frac{\sin \xi}{\cos \delta}}{\frac{J_2}{\mu'} (\cos \xi - \sin \xi \operatorname{tg} \delta)}.$$

En menant par le point A une droite AC_∞ faisant avec AB un angle δ, et en relevant la partie CC′ de la perpendiculaire abaissée du point arbitraire C de l'épure circulaire sur AB, comprise entre le cercle C et cette droite (AC_∞), on a aussitôt

$$CC' = AC (\cos \xi - \sin \xi \operatorname{tg} \delta) = \frac{J_2}{\mu'} (\cos \xi - \sin \xi \operatorname{tg} \delta),$$

étant donné que

$$\sphericalangle ABC = \sphericalangle ACC' = \xi.$$

Retranchons maintenant de CC′ dans une échelle convenable $C''_{fc} - C_0 = C'C''$; le couple moteur utile sera alors représenté par CC″.

La courbe représentative $\gamma\gamma'$ des points C″ en fonction du glissement, étant en général d'une allure complexe, il faudra, pour trouver le couple maximum, déplacer cette courbe parallèlement à elle-même dans la direction $\perp$ AB jusqu'à ce qu'elle soit tangente au cercle C. Le point de tangence correspondra alors au régime du couple maximum.

Pour déterminer le glissement nous partons du court-circuit, le rotor étant bloqué et fermé sur lui-même, ce qui revient à poser $\omega_2 = \omega_1$, donc $g = 1$ et

$$\frac{\frac{J_{2c}}{\mu'} (\cos \xi_c - \sin \xi_c \operatorname{tg} \delta)}{\frac{J_{2c}}{\mu'} \frac{\sin \xi_c}{\cos \delta}} = \frac{r_2}{\frac{\mathfrak{L}_2 \Delta \omega_1}{\mu'}}.$$

Portons sur AC_∞ à une échelle quelconque $\frac{\mathfrak{L}_2 \Delta \omega_1}{\mu'} = AT$ et en T, perpendiculaire à AB, $r_2 = TU$; la ligne de fermeture AU donnera par son point d'intersection C_c avec la circonférence C l'extrémité du courant de court-circuit primaire. Fixons ensuite sur AC_∞ l'espace entre les points 0 et 100 d'une échelle pratique, et appelons S le point d'intersection de la perpendiculaire sur AB, passant par l'extrémité 100 de l'échelle, avec la ligne AC_c. Menons ensuite par S, SS′ parallèle à AC_∞ et portons-y notre échelle du glissement en confondant le point S avec le point 100 et le point où la perpendiculaire en A sur AB rencontre SS′ avec le point 0 de l'échelle ; la ligne AC indiquera alors, pour le régime C, sur cette échelle, le glissement en p. 100.

Pour *la puissance utile*, on trouve en admettant

$$\frac{\mathfrak{M}_2 p''}{\mathfrak{L}_1 p'} = \frac{n_2 \mu_2 p''}{n_1 \mu_1 p'} = \frac{n_2 \nu_2}{n_1 \nu_1} = \frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}_2},$$

$$P_u = (1 - g) \omega_1 C_u,$$

ou, en envisageant directement les courants wattés,

$$J_{w_1} = -\frac{J_2}{\mu'} \frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}_2} (\cos \xi - \sin \xi \operatorname{tg} \delta) + \frac{J_2}{\mu'} \frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}_2} \frac{\sin \xi}{\cos \delta} \frac{r_2}{\frac{\omega_1 \mathfrak{L}_2 \Delta}{\mu'}} + \frac{(1-g)\omega_1 (C''_{fc} - C_0)}{\frac{Ep'}{2}}.$$

On reconnait immédiatement que les deux premiers termes dans l'expression J_{w_1} sont représentés par le segment CR de CC′ coupé par la ligne AC_c. En retranchant finalement

de CR une quantité RC''' correspondant au dernier membre, on recueille en CC''' la partie mécaniquement utilisable du courant watté primaire.

Le lieu des points C''', $\pi\pi'$, que l'on pourrait appeler la ligne de puissance, se déduit directement par une construction simple, du lieu $\gamma\gamma'$ des points C'' et *vice-versa*.

La puissance maxima peut être obtenue également en déplaçant la ligne de puissance $\pi\pi$ parallèle à elle-même dans la direction $\perp$AB et en relevant le point de tangence avec le cercle C.

Digression.— La puissance secondaire transmise au rotor étant

$$P'' = -\frac{p'}{2} E \frac{J_2}{\mu'} \frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}_2} (\cos\xi - \sin\xi \operatorname{tg}\delta) + \omega_1 C''_{fe},$$

le couple moteur total attaquant le rotor sera

$$C_t = C_u + C_v = \frac{P''}{\omega_1},$$

ou bien, si on rapproche de la partie de P'' transformée en chaleur dans le rotor

$$\frac{\omega'}{2} \frac{p''}{2} J_2 r_2 + g_2^2 \omega_1 C''_{fe} = \Delta P''.$$

l'expression obtenue pour C_u, on a encore :

$$C_t = \frac{\Delta P''}{g\omega_1}$$

Si nous développons enfin le long de la ligne AC la courbe *hh* des $\omega_1 C''_{fe}$ qu'on obtient en partant de la marche à vide idéale (la friction étant supposée nulle), et en allongeant chaque fois les segments CC' d'une valeur $C'h = \omega_1 C''_{fe}$ les segments des perpendiculaires abaissées des points C de l'épure circulaire sur AB, compris entre le cercle C et la courbe *hh*, mesureront en courant watté primaire la puissance P'' transmise au rotor et, dans une autre échelle, aussi le couple total C_t.

Pour trouver le *rendement industriel* formons

$$\eta = \frac{Pu}{P} = \frac{J_{w1}}{J_1 \cos\varphi},$$

et comprenons sous φ l'angle de déphasage de J_1 par rapport à $\mathcal{E}$, à savoir : $\varphi = \angle CO\mathcal{E}$.

Portons maintenant de O sur O$\mathcal{E}$ et sur une perpendiculaire OW élevée en O sur AB deux échelles quelconques mais identiques ; menons ensuite par le point 100 de l'échelle O$\mathcal{E}$ une droite perpendiculaire à O$\mathcal{E}$ jusqu'à son point de rencontre Q avec le vecteur OC du courant primaire, traçons enfin une circonférence Γ en prenant l'origine O pour centre et l'intervalle O — 100 pour rayon et désignons par Q' le point d'intersection du cercle Γ avec OC. Les parallèles à OC''' menées par Q et Q' accuseront ensuite sur l'échelle OW respectivement les rendements industriel et apparent, tandis que la perpendiculaire abaissée du point Q' sur O$\mathcal{E}$ indique sur l'échelle O$\mathcal{E}$ le facteur de puissance cos φ.

Etant donnée l'allure franchement droite, en pratique, de la ligne de puissance à l'endroit de sa naissance, il suffit pour trouver le *rendement maximum*, η_{max}, de prolonger $\pi\pi'$ dans sa direction initiale jusqu'à son point d'intersection O' avec la perpendiculaire en O sur O$\mathcal{E}$ et de tracer de O' une tangente au cercle C; le point de tangence correspondra alors au régime du meilleur rendement. On voit d'ailleurs que si η_{max} et cos φ_{max} doivent intervenir simultanément il est nécessaire que la ligne de puissance $\pi\pi'$ coïncide avec le courant

***

à vide OC_0 (l'induit étant fermé) et le point O′ avec l'origine O. Le rendement apparent sera, dans ces conditions, eo ipso maximum pour la même charge.

Applications pratiques du diagramme et méthode d'essai. — Les considérations précédentes nous permettent de tracer l'épure complète du fonctionnement d'un moteur, dès que nous nous donnons :

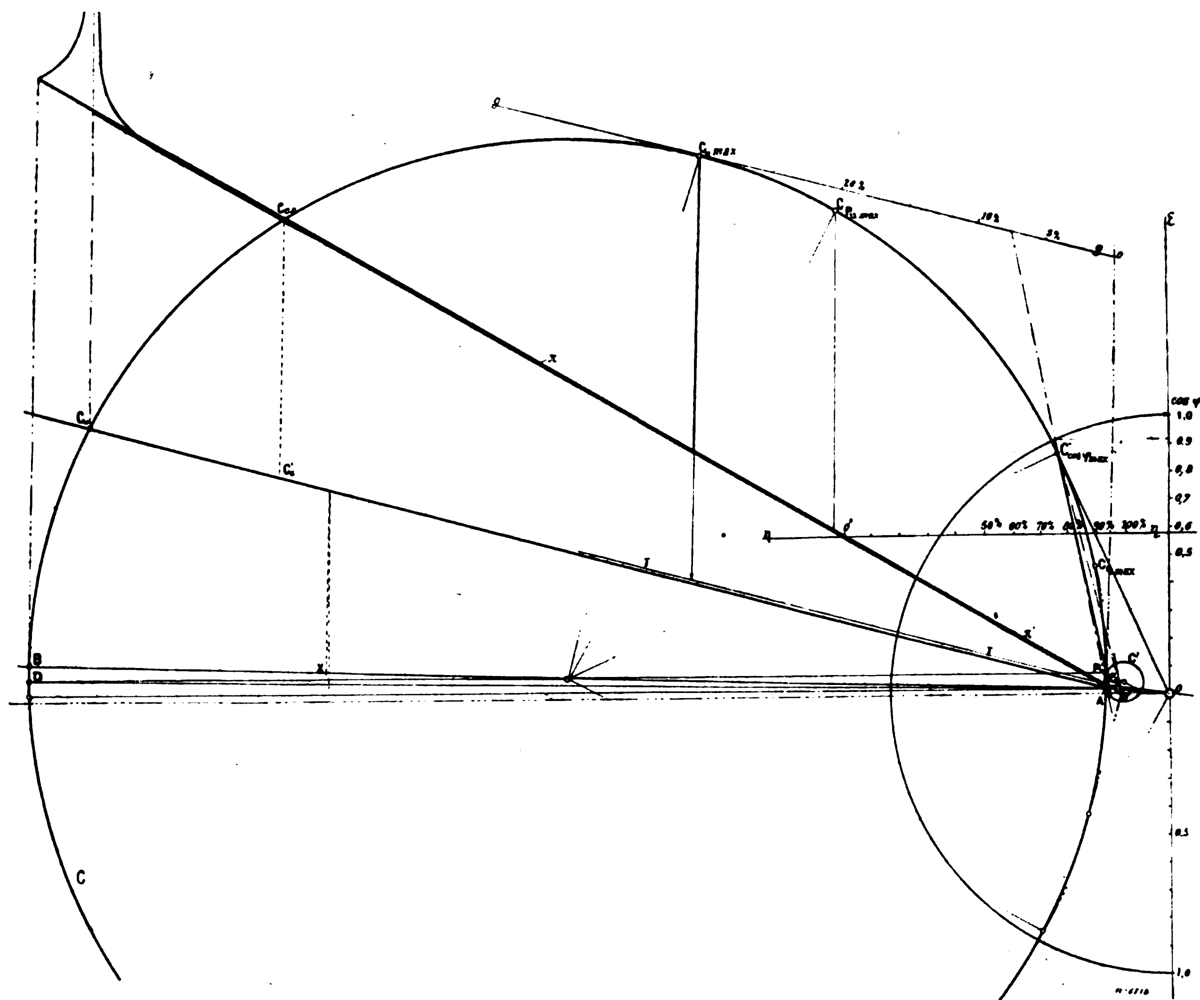


Fig. 3.

1° les courants à vide $J_0'{}_{,1}$ et $J_{0,1}$ l'induit étant fermé puis ouvert et les consommations correspondantes P_0' et P_0.

2° en plus du courant primaire en court-circuit $J_{c,1}$, la puissance P_c fournie au stator, enfin 3° la résistance ohmique par phase primaire.

Suivant la nature des conducteurs induits et l'isolement plus ou moins parfait des tôles du rotor, il y a lieu de tenir compte des pertes parasites en court-circuit dans le rotor et de mesurer, outre la résistance ohmique secondaire, le rapport de transformation l'induit étant bloqué. Ces pertes ne figurant pas en marche normale, on devra, pour ramener les pertes secondaires en court circuit à leur valeur vraie, retrancher de $C_c C_c'$, mesurant les pertes secondaires en court-circuit, une quantité $C_c C^*$, correspondant, en courant watté primaire, aux pertes parasites dans le rotor.

Le courant en court-circuit variant d'ailleurs pour certains types d'enroulements, avec la position du rotor, il est recommandable *de faire tourner l'induit* lentement durant l'essai de court-circuit, tout en tenant compte de la vitesse angulaire imprimée au rotor.

Remarquons finalement que la différence $C''_{fc} - C_0$ peut être considérée pratiquement comme constante durant le fonctionnement normal du moteur et les lignes de repère $\gamma\gamma'$ et $\pi\pi'$ prendront de ce chef une allure sensiblement droite dans la région correspondante de l'épure.

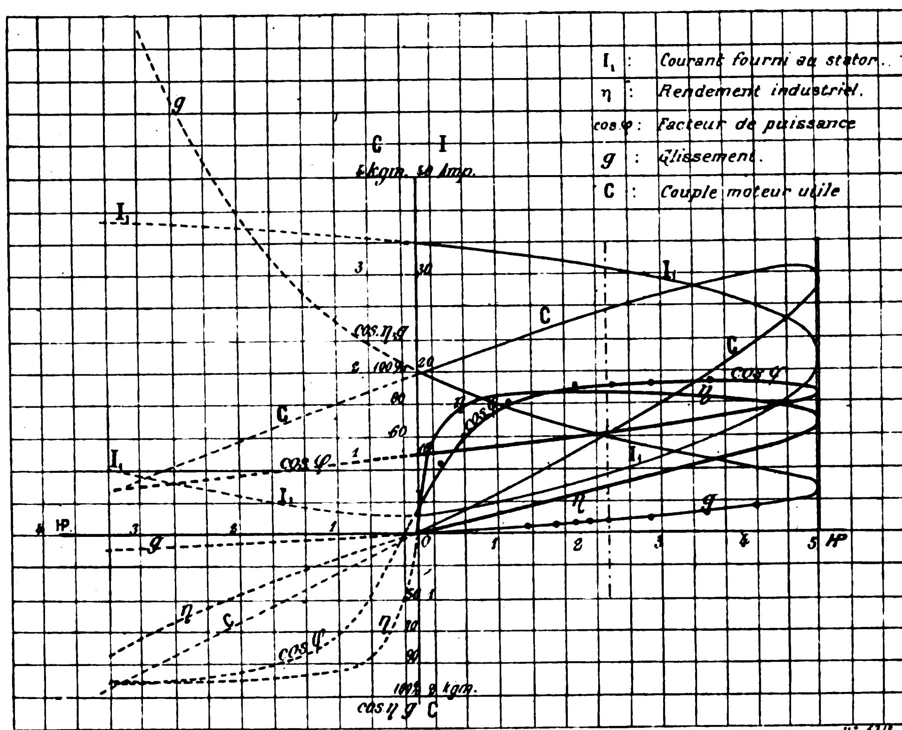


Fig. 4.

Dans ces conditions, le développement graphique du diagramme est susceptible d'une simplification notable comme nous allons voir avec un exemple à l'appui.

Les données expérimentales relevées sur un moteur triphasé, tétrapolaire d'Oerlikon donnant normalement 2,5 chevaux, sous 190 volts et 50 périodes sont :

à vide : $J_{o,1} = 2{,}25$ ampères, $P'_o = 68$ watts, $P'_o = 108$ watts ;
en court-circuit : $J'_{c,1} = 9$ ampères avec $E'_c = 48{,}2$ volts et $P'_c = 380$ watts ;
résistance primaire par phase : $r_1 = 0{,}68\ \Omega$.

Avec ces données nous allons pouvoir maintenant tracer l'épure pratique donnant toutes les conditions de fonctionnement du moteur en charge. En effet, prenons le vecteur du du voltage aux bornes OC, comme axe fixe (voir fig. 3) et traçons les vecteurs des courants à vide $\overline{J_{o,1}} = \overline{OA}$ et $\overline{J'_{o,1}} = \overline{OC_o}$ et finalement le vecteur du courant primaire en court-circuit réduit à la tension normale

$$\overline{OC_c} = \overline{J}_{c,1} = J'_{c,1}\,\frac{190}{48{,}2}, \qquad \left(P_{2c} = P'\left|\frac{190}{48{,}2}\right|^2\right).$$

Le cercle fondamental C devant passer par les extrémités A et C_c des vecteurs $\overline{J_{o,1}}$ et $\overline{J_{c,1}}$,

il ne nous reste plus qu'à indiquer un lieu géométrique pour son centre en menant par exemple par A une droite faisant avec O$\mathcal{E}$ un angle $\frac{\pi}{2} - 2\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_0 - v\right)$. Par approximation on peut, à cet effet, aussi porter de A perpendiculairement à O$\mathcal{E}$ les 100 divisions d'une échelle quelconque puis de l'extrémité 100 à la même échelle, perpendiculairement à OA, deux fois le pourcentage de la chute ohmique primaire à vide soit 2. $\frac{J_{o_1 1} r_1}{\mathcal{E}}$ 100 et considérer simplement le point d'intersection entre la ligne de fermeture et la bissectrice tombant sur la corde AC_c comme le centre de la circonférence C.

Fig. 5.

Nous obtenons la ligne de puissance $\pi\pi'$ en menant par le point d'intersection C' du vecteur $\overline{J_o{}'_{1}}$ avec la circonférence C une parallèle à AC_c coupant la perpendiculaire en O sur O$\mathcal{E}$ en O' [1].

Tant que la ligne de puissance $\pi\pi'$ peut être confondue avec une droite, la construction relative au rendement est susceptible d'une simplification. Traçons, en effet, à une distance normale du point O' égale à l'intervalle o — 100 d'une échelle quelconque, une droite perpendiculaire au diamètre AB jusqu'à ce qu'elle rencontre la ligne $\pi\pi'$ en O'' et portons maintenant de O'' sur la perpendiculaire $\eta_1\eta_1$, abaissée de O'' sur le vecteur de la tension O$\mathcal{E}$, notre échelle dans les deux sens. Les droites O'C marqueront alors sur l'échelle $\eta_1\eta_1$ les rendements industriels en p. 100 afférents aux points représentatifs C de l'épure.

Remarquons finalement que la ligne AC_∞ a été obtenue simplement en portant de A sur AB le rapport (voir fig. 2) $\frac{OA}{OH} = \left| id + \frac{r_1}{\mathcal{L}_1 \mu_1 \omega_1} \right| \cos\delta = AX$ et en reliant le point d'intersection de la perpendiculaire en X sur AB avec la parallèle tracée à la distance $\frac{J_{o_1 1} r_1}{\mathcal{E}}$ de AD, avec le point A.

Nous avons résumé dans la figure 4 les courbes caractéristiques du moteur, telles que les accuse le diagramme, à savoir : le rendement industriel η, le facteur de puissance cos φ, le couple moteur utile C, le glissement g et le courant primaire en fonction de la puissance mécanique P_u. Les points contournés d'un rond ont été relevés expérimentalement et portés dans le tableau en les coordonnant au courant primaire. On reconnaît que la vérification pratique est satisfaisante.

[1] Il va de soi que cette construction n'est qu'approchée, la ligne de repère $\pi\pi'$ devant passer par le point C_c, même si C'' C_u restait constant.

Nous avons enfin représenté dans la figure 5 les mêmes courbes caractéristiques en fonction de la puissance électrique ($\mathcal{E}$. J_1 cos φ p'). Tandis que, sur ce graphique, les courbes C, J_1 et cos φ se ferment dans le fini, si on parcourt tout le diagramme, les courbes relatives au glissement g, à la puissance mécanique P_u et au rendement industriel η_1 tendent vers l'infini à mesure que l'on s'approche du point figuratif C_∞. En plus, le rendement η_1,

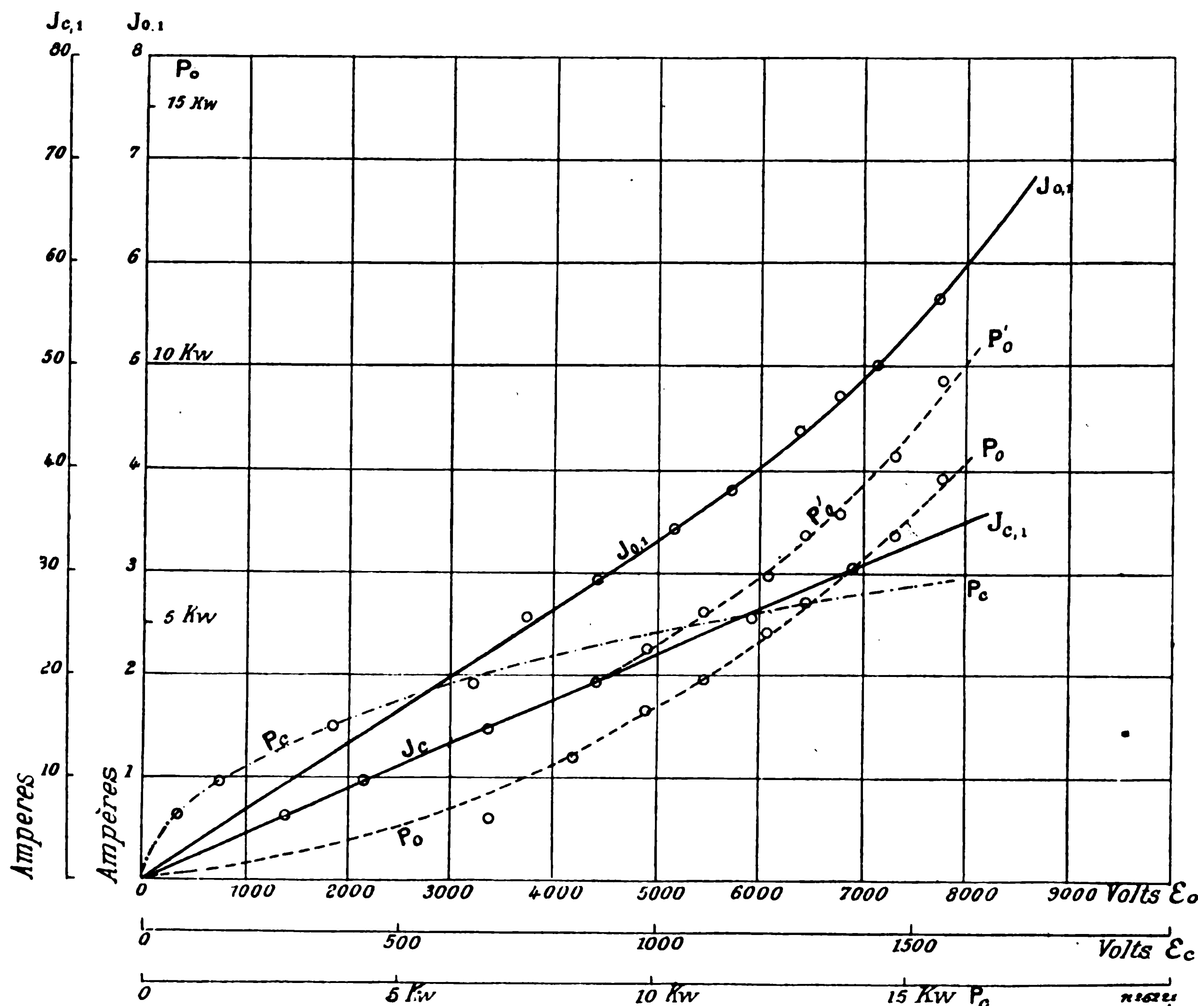


Fig. 6.

ou plutôt le rapport entre les puissances mécanique et électrique, aborde, avant de passer par zéro, deux fois l'infini.

Au point de vue énergétique, nous pouvons distinguer sur l'épure circulaire, en plus de la région entre les points C_o et C_c correspondant au fonctionnement comme moteur proprement dit, les deux zônes adjacentes comprises entre les points d'intersection de la perpendiculaire en O sur O$\mathcal{E}$ avec la circonférence C et les points C_c et C_o respectivement, où l'appareil absorbe à la fois de l'énergie électrique et mécanique et ne produit que de la chaleur, et enfin le segment restant de l'épure, coupé par la perpendiculaire en O sur O$\mathcal{E}$, qui correspond au fonctionnement comme générateur électrique.

Résultats d'essais d'un moteur de 360 chevaux. — Nous donnons dans la figure 6 les

courbes caractéristiques $J_{o,1}$, P'_o, P_o, $J_{c,1}$ relevées sur un moteur triphasé hexapolaire d'Oerlikon, type 8 072, construit pour une puissance de 360 chevaux sous 6 000 volts et 25 périodes. Nous avons également indiqué, dans la même figure, en fonction du courant $J_{c,1}$ la puissance P_c dépensée en court-circuit, l'induit ayant été maintenu à une allure très lente au moyen d'un frein appliqué à l'arbre. Le point de court-circuit théorique a été déterminé en portant du point C'_c (voir fig. 2) sur la perpendiculaire, abaissée de l'extrémité du

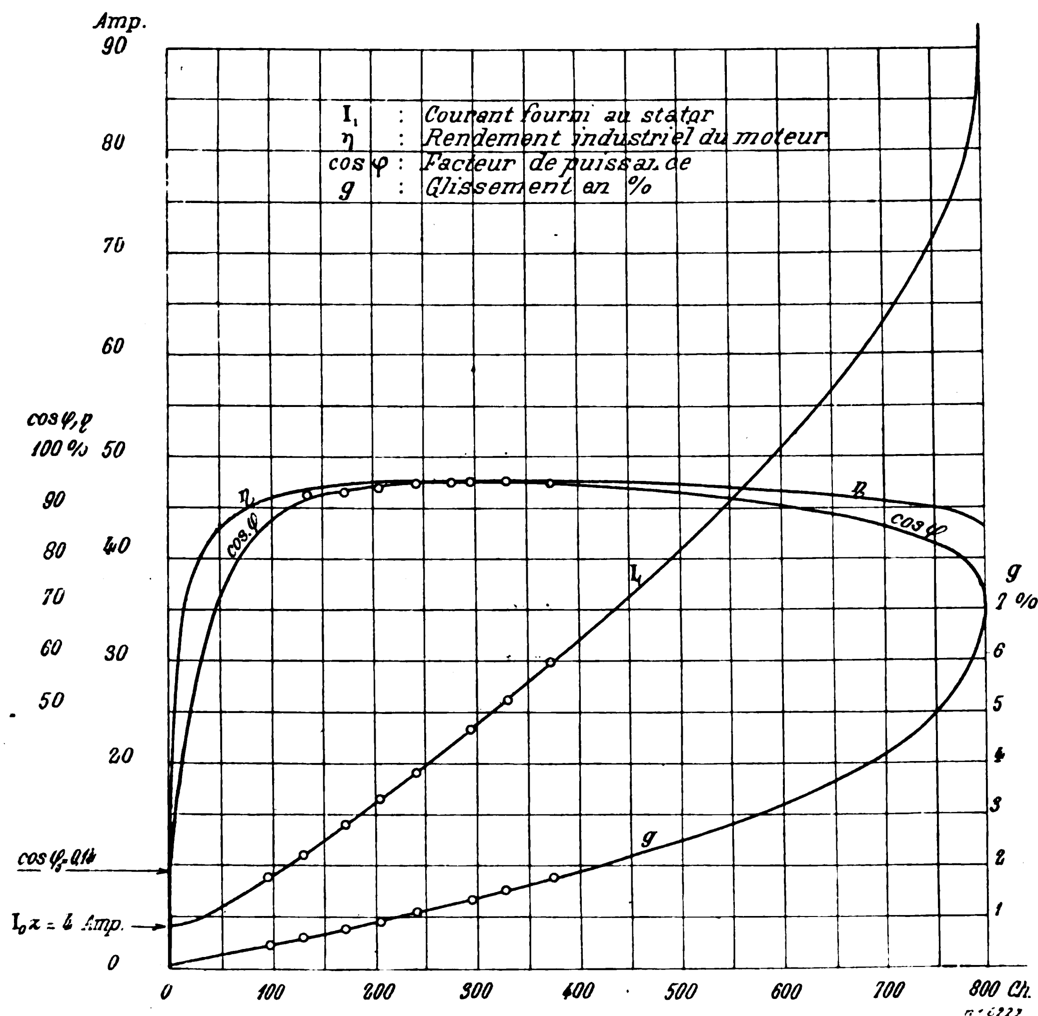


Fig. 7.

vecteur $J_{c,1}$ sur le diamètre AB du cercle fondamental, en courant watté primaire, la perte Joule dans l'induit C'_c C^*_c en court-circuit, et en relevant le point d'intersection de la ligne AC^*_c avec le cercle fondamental. La résistance primaire a été trouvée de 2,10 Ω par phase ; la résistance secondaire de 0,0035 Ω. Le rapport de transformation était à 25 périodes : 6 000/258 = 23,3.

On a en plus observé à 6 000 volts le passage du rotor par le synchronisme, l'induit étant ouvert et commandé par une dynamo à courant continu accouplée directement. Peu avant le synchronisme, le wattmètre dénotait une dépense à vide de P_o = 4,7 kilowatts ; au moment où le rotor venait de franchir le synchronisme, l'indication du wattmètre fléchit brusque-

ment jusqu'à 2,1 kilowatts et se maintenait ensuite sensiblement à cette valeur au-delà du synchronisme. En même temps on pouvait observer du côté de la dynamo le jeu d'énergies complémentaire.

Abstraction faite des fluctuations d'ordre supérieur du champ tournant, la puissance mise en jeu par l'hystérésis rotorique est donc :

$$C''_{fe}\,\omega_1 = \frac{4,7 - 2,1}{2} = 1,3 \text{ kilowatt.}$$

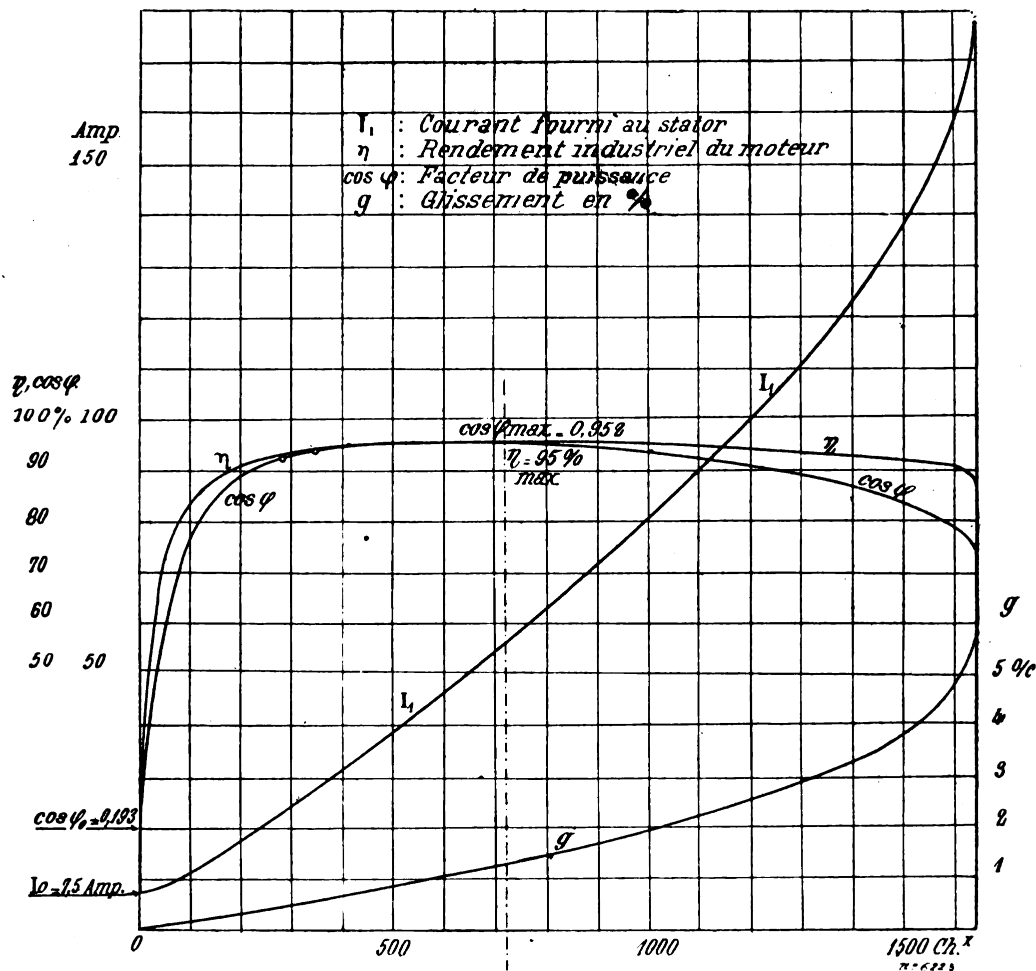


Fig. 8.

La consommation totale à vide étant d'autre part de 5,9 kilowatts, on obtient pour les pertes dues à la friction et à la ventilation proprement dites :

$$C\,\omega_1 = 5,9 - 4,7 + 1,3 = 2,5 \text{ kilowatts } (^1).$$

(1) Il y a lieu de faire remarquer à cet endroit que les méthodes indiquées par MM. Rudolf Braun (*E. T. Z.*, t. XX, p. 685, 1899, voir aussi *Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 64), et Dr G. Benischke (*E. T. Z.*, t. XXII, p. 698, 1901) pour déterminer les pertes par frottement en observant la différence $P'_0 - P_0$ des dépenses à vide, l'induit étant d'abord fermé puis ouvert, ou en mesurant directement le glissement à vide, se trouvent être en défaut, parce qu'elles négligent l'influence du couple moteur de l'hystérésis rotorique.

Voir d'ailleurs à cet effet nos remarques *E. T. Z.*, 1903, p. 507.

A l'aide de ces données nous avons construit le diagramme. Nous donnons dans la figure 7 les courbes du rendement η, du facteur de puissance $\cos \varphi$, du courant primaire J_1 et du glissement g en fonction de la puissance utile, telles que les accuse le diagramme.

Les points relevés par mesure directe avec des instruments de précision, préalablement étalonnés, sont marqués par des ronds. Le glissement avait été observé directement par une méthode différentielle et se trouve tout particulièrement bien vérifié.

On peut remarquer d'ailleurs que depuis 1/3 de charge jusqu'à 50 p. 100 de surcharge, le facteur de puissance $\cos \varphi$ est supérieur à 0,9, et le rendement industriel, dans le même intervalle, dépasse 0,93 en passant par 0,95.

Le facteur de surcharge puissancique au moment du décrochage est de 2,2.

Résultats d'essais d'un moteur de 720 chevaux. — Dans la figure 8 nous donnons enfin les mêmes courbes de fonctionnement d'un moteur triphasé d'Oerlikon, type 8 084, à 8 pôles, pouvant donner 720 chevaux sous 6 000 volts et 25 périodes. On a pu observer expérimentalement, en plus des courbes $J_{o,1}$, P_o', P_o, $J_{c,1}$ P_c, que nous nous dispensons de reproduire explicitement, le $\cos \varphi$ pour deux charges différentes.

Voici les valeurs caractéristiques relevées sur ce moteur.

Avec 6 000 volts et 25 périodes on a trouvé à vide :

$$J_{o,1} = 7,5 \text{ ampères}, \quad P'_o = 15,0 \text{ kilowatts}, \quad P_o = 9,2 \text{ kilowatts}$$

à 1 000 volts et 25 périodes on a eu, l'induit tournant lentement :

$$J_{c,1} = 44 \text{ ampères}, \quad P_c = 11,7 \text{ kilowatts}.$$

Résistance primaire par phase : 0,67 Ω ;
Résistance secondaire par phase : 0,0035 Ω ;
Rapport de transformation : $\dfrac{6\,050}{390} = 15,5$;
Coefficient de dispersion total : $d = \sigma = 0,0268$;
$(\cos \varphi)_{max} = 0,952$;
$(\eta)_{max} = 0,950$;
Glissement en pleine charge $g = 1,3$ p. 100.
Coefficient de surcharge puissancique au moment du décrochage : 2,3.

Dr Th. Lehmann.

CHUTE OHMIQUE

DANS LES BALAIS DES DYNAMOS A COURANT CONTINU

E, étant la force électromotrice induite dans une armature de dynamo à courant continu débitant un courant I ;

R, la résistance du cuivre de l'induit ;

V, la tension mesurée extérieurement entre balais ;

La différence $(E - IR) - V = \pi$ représente, par définition, la chute ohmique dans les balais.

Je me propose de démontrer que ce terme π, pour un même débit I, varie avec les conditions de commutation et, en réalité, dans un sens tel qu'il décroît, s'annule et devient négatif lorsque la force électromotrice de renversement augmente tandis qu'il s'accroît lorsque la force électromotrice de renversement diminue ou change de signe.

Tout d'abord, voyons à quoi correspond le terme π. Considérons la figure 1. Soit p_1 la chute ohmique instantanée sous l'arête avant du balai α, p_2 la chute ohmique instantanée sous l'arête arrière du balai β. On reconnaît, sans difficulté, que la valeur instantanée de π est $p_1 + p_2$. Mais, par raison de symétrie, la chute ohmique instantanée p_2 sous l'arête arrière du balai β est égale à la chute ohmique instantanée sous l'arête arrière du balai α. Il en résulte que la valeur instantanée du terme π est égale à la somme algébrique des chutes instantanées sous les bords extrêmes d'un même balai α. Sa valeur moyenne sera évidemment égale à la somme des valeurs moyennes des chutes instantanées p_1 et p_2.

Pour obtenir ces valeurs moyennes, il suffit de disposer un petit balai auxiliaire de largeur très réduite, d'abord sur le prolongement de l'arête avant, puis sur le prolongement de l'arête arrière du balai α et de mesurer ses écarts de tension successifs par rapport au balai α. La mesure expérimentale de π est donc possible et la vérification de la loi énoncée plus haut peut avoir facilement lieu.

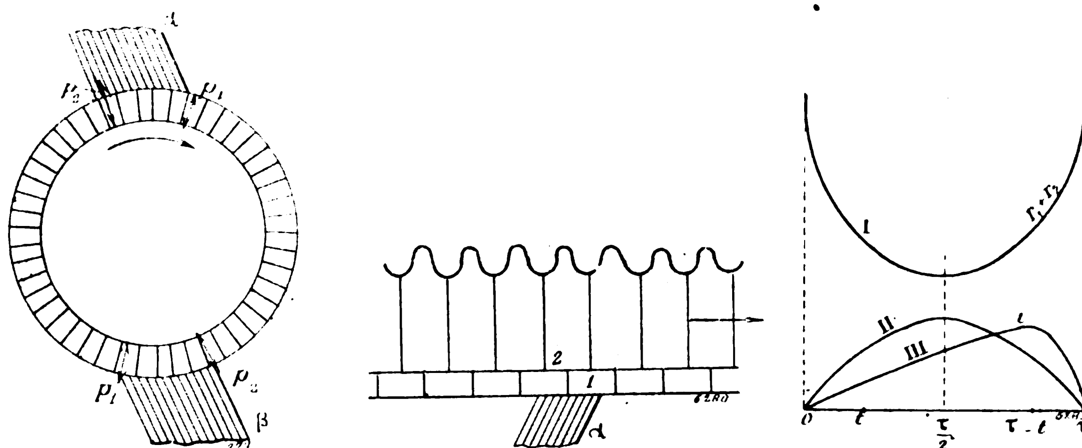


Fig. 1 à 3.

Considérons d'abord le cas de la marche à vide pour laquelle les balais α, β ne livrent pas de courant extérieurement. Je vais démontrer que, par suite de la formation éventuelle d'un courant de court-circuit sous le balai α, on se trouve en présence d'une véritable chute ohmique π entre balais généralement différente de o et susceptible d'être positive ou négative suivant que l'on décale les balais en arrière ou en avant par rapport à la ligne perpendiculaire à la ligne des pôles.

Le simple examen de la figure 2 suffit à montrer que, dans les conditions représentées par cette figure, l'équation du courant de court-circuit sous les balais, peut s'écrire.

$$e - \lambda \frac{di}{dt} - i(r_1 + r_2) = 0 \qquad (1)$$

en désignant :

par e, la force électromotrice induite dans la section en court-circuit ;

par λ, son coefficient de self-induction ;

par r_1, la résistance au contact entre la lame 1 et le balai α ;

par r_2, la résistance au contact entre la lame 2 et le balai α.

Quand le court-circuit commence, à l'instant o, i est nul. De même, par définition, à l'instant τ quand le court-circuit est rompu.

Les valeurs de p_1 et de p_2 à tout instant sont sur la figure 2 :

$$ir_1 - ir_2.$$

de telle sorte que la valeur instantanée de π est $i\,(r_1 - r_2)$ et sa valeur moyenne :

$$\frac{1}{\tau}\int_0^t i\left[r_1 - r_2\right] dt.$$

La variation de la résistance extérieure $r_1 + r_2$ est hyperbolique et correspond à la courbe I de la figure 3.

Si la section en court-circuit était dépourvue de self-induction ($\lambda = o$), nous savons que le courant i serait maximum à l'instant $\frac{\tau}{2}$ où la résistance $r_1 + r_2$ passe par son minimum et le courant i pourrait être représenté par une courbe telle que la courbe II de la figure 3. Mais la section en court-circuit possède une certaine self-induction. Dans ces conditions, sans chercher à résoudre l'équation (1), nous pouvons assurer que le courant i passe par son maximum après l'instant $\frac{\tau}{2}$ où la résistance extérieure $r_1 + r_2$ est minima et qu'il peut être représenté par une courbe telle que la courbe III de la figure 3.

De cette simple remarque, il va résulter que l'intégrale $\frac{1}{\tau}\int_0^\tau i\,(r_1 - r_2)\,dt$ a une certaine valeur différente de o.

En effet, considérons la somme des deux éléments infiniment petits de cette intégrale correspondant aux instants t et $\tau - t$, t restant plus petit que $\frac{\tau}{2}$

A ces deux instants $r_1 - r_2$ a la même valeur absolue et un signe différent. Mais on reconnaît facilement, en se reportant à la courbe III de la figure 3, que i a une valeur plus grande à l'instant $\tau - t$ qu'à l'instant t. Il en résulte que la demi-intégrale $\int_{\frac{\tau}{2}}^{\tau} i\,(r_1 - r_2)\,dt$ prévaudra sur la demi-intégrale $\int_0^{\frac{\tau}{2}} i\,(r_1 - r_2)\,dt$ et que l'intégrale totale $\int_0^\tau i\,(r_1 - r_2)\,dt$ aura une certaine valeur différente de o dont le signe sera déterminé par le sens du courant i, c'est-à-dire par le signe de e.

On vérifie alors que $\pi = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau i\,(r_1 - r_2)\,dt$ est positif pour un décalage en arrière du mouvement et négatif pour un décalage en avant.

Considérons maintenant la marche en charge pour laquelle les balais débitent extérieurement un courant I.

On peut représenter tout régime de commutation en admettant que, à la commutation parfaite du courant extérieur I (commutation parfaite correspondant à une variation linéaire du courant dans la section en court-circuit et à une densité de courant uniforme sous les balais), vient se superposer un certain courant de court-circuit i.

La chute ohmique dans les balais sera, dans ces conditions, la somme algébrique :

1° De la chute ohmique propre au courant I, en admettant une distribution uniforme de ce courant sous les balais ;

2° De la perte ohmique créée par le courant de court-circuit i.

L'équation de ce courant de court-circuit i en charge est, comme on s'en assure facilement,

$$\left(e - \frac{\lambda I}{\tau}\right) - \lambda\frac{di}{dt} - i\left[r_1 + r_2\right] = o$$

C'est donc le signe de $\left(e - \frac{\lambda I}{\tau}\right)$ qui détermine le signe de la deuxième perte ohmique qu'il faut ajouter à la chute normale.

Si l'on a $e < \frac{\lambda I}{\tau}$ (force électromotrice de renversement insuffisante) cette deuxième perte s'ajoute à la chute normale. Mais si l'on a $e > \frac{\lambda I}{\tau}$ (force électromotrice de renversement trop forte) elle se retranche de cette chute normale. Il pourra ainsi arriver que le terme π défini plus haut s'annule et devienne négatif.

Quant à la perte d'énergie par échauffement sous les balais, elle est égale à la somme arithmétique de la perte par échauffement due au débit du courant I et de la perte par échauffement dûe à la circulation d'un courant parasite de court-circuit i sous les balais. Elle n'est naturellement pas donnée par le produit π I. Lorsque l'on a $e < \frac{\lambda I}{\tau}$ l'énergie dissipée par le courant parasite i est, pour ainsi dire, prélevée sur le circuit général. Mais, lorsque l'on a $e > \frac{\lambda I}{\tau}$ cette énergie est fournie par la section en court-circuit elle-même. Dans tous les cas la commutation parfaite correspond au meilleur rendement. Elle ne correspond donc pas à une conception ne présentant qu'un intérêt purement théorique.

Marius Latour.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TÉLÉGRAPHIE

Télégraphie sans fil système Fessenden, par **A.-F. Collins**, *Electrical Review* (N.-Y.), t. XLII, p. 271-275, 21 février 1903.

Dans le cohéreur usuel, la variation brusque de résistance est due à la tension résultant du choc des ondes; M. le professeur Fessenden a établi un système de récepteur dont l'action est provoquée par le courant et non plus par la tension. La supériorité de ce nouveau récepteur ressort pleinement : 1° de la plus grande rapidité de la transmission; 2° de la facilité avec laquelle s'accomplit la syntonisation [1]. Cette dernière ne dépend plus de la valeur maxima de l'énergie des radiations mais de l'énergie totale rayonnée ; d'où résulte la faculté d'employer des oscillations à basse tension prolongées, au lieu d'ondes à hautes tensions, et

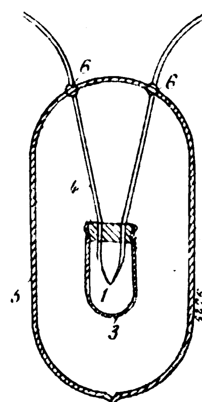


Fig. 1.

une réduction correspondante de la hauteur des antennes On a pu, en effet, communiquer avec le système Fessenden à des distances de 160 km avec des bobines d'induction de 6 mm d'étincelle et une antenne simple de 12 m.

[1] L'inventeur affirme que son système permet la transmission de 65 mots à la minute, alors que le cohéreur usuel ne permet qu'une vitesse de 15 mots. La difficulté de la syntonisation dans ce dernier réside dans son rendement très faible et dans l'effet des perturbations atmosphériques, influence auxquelles le récepteur Fessenden remédie complètement. La sensibilité de ce récepteur est estimée 25 000 fois supérieure à celle du cohéreur; la transmission à 80 km, avec des antennes de 43 m exigeait des étincelles de 0,8 mm à l'oscillateur.

Le récepteur Fessenden est, suivant l'inventeur, basé sur le principe suivant : si la chaleur spécifique d'un conducteur est telle que l'énergie requise pour élever sa température au-dessus de l'air ambiant, est faible en comparaison de l'énergie dissipée par rayonnement, convection et conductibilité, et si un certain courant de fréquence et de forme quelconques traverse ce conducteur, un circuit local à courant continu en série avec ce conducteur se trouvera chargé de la quantité d'énergie correspondante.

Le récepteur Fessenden se compose essentiellement d'un fil d'argent de 5/100 de mm de diamètre muni d'un noyau en platine de 1,5 millième de mm; ces faibles diamètres étant obtenus par étirage d'un fil 50 fois plus gros. Ce petit fil est fixé sous forme de boucle à deux fils de prise de courant (fig. 1); le sommet de la boucle est immergé dans l'acide nitrique afin de dissoudre une partie du filament d'argent, qui a finalement une résistance de 30 à 150 ohms. Il est placé dans une capsule en argent 3, bouchée par une rondelle de verre; le tout est entouré d'une enveloppe en verre, où l'on peut faire le vide. Le rôle de la capsule d'argent est de restreindre le rayonnement de chaleur.

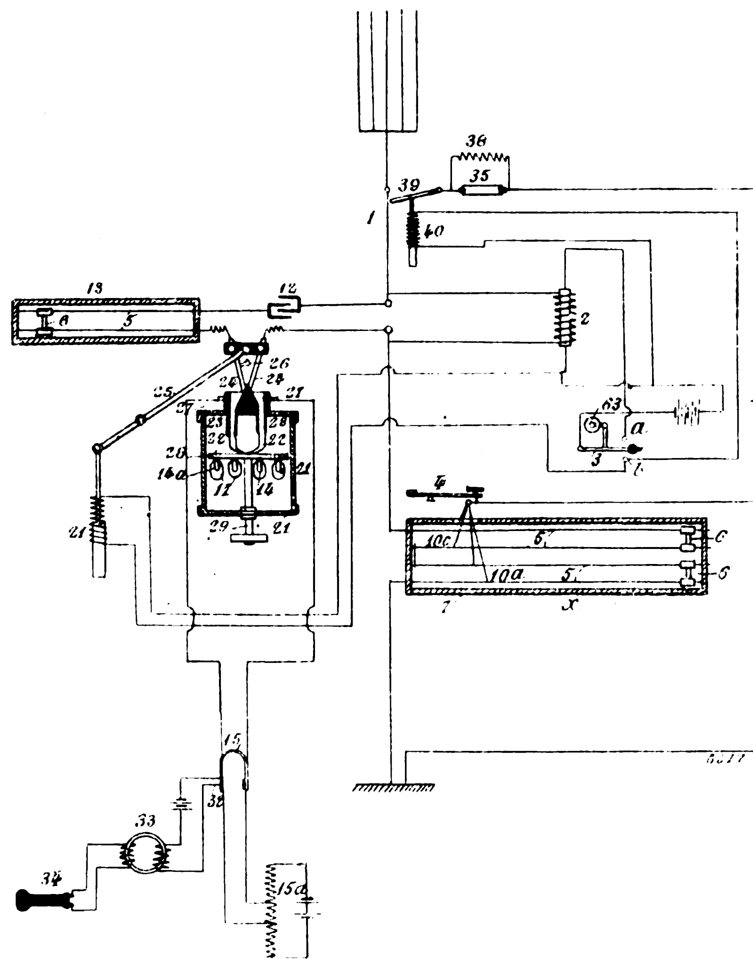


Fig. 2.

L'appareil de syntonisation comprend une source de courant chargeant les sphères de l'excitateur à travers un transformateur; en série avec l'excitateur se trouve une haute résistance non inductive. Le transformateur charge directement un condensateur quand la décharge disruptive éclate entre les deux sphères. La syntonisation s'opère au moyen d'une ou plu-

sieurs paires de fils disposés dans une boîte remplie d'huile. Grâce à cette disposition, la capacité et l'inductance se trouvent proportionnées de telle manière que les oscillations ne diminuent pas en progression géométrique, mais restent constantes en grandeur. Une boîte de syntonisation semblable est disposée dans le circuit récepteur.

La figure 2 représente un schéma de connexions d'un poste complet; l'antenne 1 et la terre sont reliées à l'excitateur à travers la boîte de syntonisation 6. L'interrupteur 3 coupe le circuit oscillateur pour la réception. Les chiffres 21 à 27 représentent le système récepteur, et 34 est un récepteur téléphonique traduisant les impulsions en signaux de l'alphabet Morse.

Une autre particularité de ce système réside dans une terre artificielle, consistant en conducteurs partant des appareils et passant au sommet des édifices voisins, pour aboutir à la terre, de chaque côté des appareils, à une distance égale au quart de la longueur de l'antenne et dans la direction du poste récepteur. Cette disposition est destinée à éviter les perturbations atmosphériques et à diriger les ondes.

Enfin, un appareil spécial est destiné a augmenter l'efficacité de l'excitateur. On sait que, dans la transmission d'ondes, la longueur d'étincelle doit être réduite à une valeur critique telle que la résistance du circuit soit inférieure au quadruple de l'inductance divisée par la capacité, c'est la condition nécessaire et suffisante pour que la décharge soit oscillante. L'objet de l'invention de Fessenden est de maintenir une relation définie entre les trois conditions du circuit précitées, indépendamment de la différence de potentiel produisant la décharge. Dans l'air aux pressions ordinaires, le rendement en oscillations n'augmente plus avec la différence de potentiel quand l'étincelle atteint une longueur d'environ 25 mm. Pour remédier à cette limitation, Fessenden fait jaillir l'étincelle, entre une tige et un plateau, dans de l'air comprimé à 5,5 kg : cm², pression à laquelle l'énergie des ondes émises devient sensiblement proportionnelle à la différence de potentiel de la source.

P. L. C.

DIVERS

Démonstration de la loi de Maxwell-Bartoli sur la pression produite par une radiation, par **H. Pellat**. *Journal de Physique*, 4e série, t. II, p. 484-490, juillet 1903.

Comme on le sait, Maxwell a déduit de la théorie électromagnétique de la lumière, qu'une radiation, en tombant normalement sur une surface doit produire une pression égale à l'énergie radiante contenue dans l'unité de volume.

Bartoli, et depuis, plusieurs autres auteurs sont arrivés au même résultat en s'appuyant seulement sur les principes de la thermodynamique. La démonstration de Bartoli, reprise par Boltzmann est assez bizarre et comme cette loi prend de plus en plus d'importance par les applications qu'on a faites à l'astronomie physique (queue des comètes, couronnes solaires, etc.) M. Pellat a pensé ne pas faire œuvre inutile en en donnant une démonstration rigoureuse.

Cette démonstration est divisée en deux parties : la première, dans laquelle les lois du rayonnement sont seules appliquées, a surtout pour but de permettre de passer du cas d'un rayonnement en tout sens au cas du rayonnement normal d'une manière rigoureuse ; la seconde fondée sur les principes de la thermodynamique, montre l'existence des pressions produites par les radiations et en donne la grandeur.

I. — Considérons deux plans indéfinis parallèles (fig. 1), l'un AA parfaitement noir, l'autre BB opaque et doué d'un pouvoir réflecteur ou diffusif uniforme ρ, à la même température absolue T et comprenant entre eux un espace vide

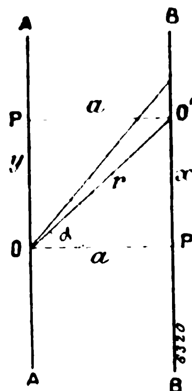


Fig. 1.

d'épaisseur a. Proposons-nous d'abord d'évaluer l'énergie radiante contenue par unité de volume entre ces deux plans.

En désignant par E l'énergie rayonnée dans la direction normale, pendant l'unité de temps, par l'unité de surface du corps noir AA, un élément de surface O, d'étendue ds envoie pendant l'unité de temps, dans un cône d'ouverture $d\omega$ faisant un angle α avec la normale, une quantité d'énergie d^2U_1, donnée par

$$d^2 U_1 = \frac{E}{2\pi} \cos.\alpha\, d\omega\, ds. \tag{1}$$

Si ds' est la surface découpée par ce cône en O' dans le plan BB, on a $d\omega = \frac{\cos.\alpha ds'}{r^2}$ en désignant par r la longueur OO'; d'où :

$$d^2 U_1 = \frac{E}{2\pi} \frac{\cos.^2\alpha\, ds\, ds'}{r_2}. \tag{2}$$

La quantité d'énergie contenue dans le cône OO' est donnée par $d^2U = d^2U_1 \frac{r}{V}$ en appelant V la vitesse de la lumière ; d'où :

$$d^2 U = \frac{E}{2\pi} \frac{\cos.^2\alpha\, ds\, ds'}{Vr}. \tag{3}$$

En appelant x la distance PO', comme r et α ne dépendent que de x, on peut prendre pour l'élément ds' la couronne $2\pi x dx$, et en intégrant entre $x = 0$ et $x = \infty$, après avoir remplacé $\cos.\alpha$ et r par leur expression en x, il vient pour l'énergie totale contenue entre les deux plans et provenant du seul élément ds :

$$dU = \frac{E}{V} a ds, \tag{4}$$

et pour l'énergie provenant d'une étendue S de la surface AA de diamètre infini par rapport à O

$$U = \frac{E}{V} aS. \tag{5}$$

Mais par le fait que le plan BB réfléchit ou diffuse une fraction ρ de cette énergie, il faut ajouter à l'expression précédente, pour avoir l'énergie contenue entre les deux plans, la fraction $\rho U = \rho \frac{E}{V} aS$, et du fait que le corps BB ayant un pouvoir absorbant $1 - \rho$ a un pouvoir émissif qui est la fraction $1 - \rho$ de celui du corps noir AA, il faut ajouter $\frac{E(1-\rho)}{V} aS$ provenant du rayonnement de BB, ce qui donne en tout $2\frac{E}{V} aS$ pour l'énergie contenue entre une portion S des deux plans ; d'où, pour l'énergie u contenue par unité de volume :

$$u = \frac{2E}{V}. \tag{6}$$

D'après la loi de Stéfan, en appelant A une constante, on a $E = AT^4$, d'où

$$u = \frac{2AT^4}{V}. \tag{7}$$

Revenons à l'élément O' frappé par le rayonnement de l'élément O, et qui en reçoit la quantité d'énergie d^2U_1, par unité de temps, fournie par (2). Si cette surface ds' éprouve de la part de ce rayonnement une force F de pression, celle-ci ne peut être due qu'à la composante normale du rayonnement; de façon qu'en désignant par k une constante on a :

$$d^2F = k d^2U_1 \cos.\alpha, \tag{8}$$

ou en remplaçant d^2U_1 par sa valeur (2) :

$$d^2F = k \frac{E}{2\pi} \frac{\cos.^3\alpha\, ds\, ds'}{r^2}. \tag{9}$$

En désignant par y la distance OP', en remplaçant r et $\cos.\alpha$ par leur valeur en y, ds par la couronne $2\pi y dy$ et intégrant depuis $y = 0$ jusqu'à $y = \infty$, on obtient pour la force de pression produite par le rayonnement de la totalité du plan AA sur O' :

$$dF = \frac{1}{3} k E ds'. \tag{10}$$

et par conséquent pour la pression p produite en un point quelconque du plan BB :

$$p = \frac{1}{3} kE = \frac{kV}{2} \cdot \frac{u}{3}. \tag{11}$$

d'après (6).

Si la surface BB, au lieu de recevoir les radiations dans toutes les directions ne reçoit que des radiations normales, en appelant dU_1 l'énergie qui tombe pendant l'unité de temps sur la surface ds', et dF la force qui en résulte, on a, d'après (8) :

$$dF = k dU_1. \tag{12}$$

En appelant u' l'énergie contenue alors dans l'unité de volume, provenant tant des radiations incidentes que des radiations réfléchies ou émises par BB, l'énergie contenue dans l'unité de volume et provenant seulement de l'onde incidente est $\frac{u'}{2}$, comme nous l'avons vu.

Par conséquent on a :

$$dU_1 = \frac{u'}{2} V ds'. \tag{13}$$

d'où en remplaçant dans (12),

$$dF = k \frac{u'}{2} V ds'. \tag{14}$$

et par conséquent, pour la pression p' supportée par le plan BB :

$$p' = \frac{kV}{2} u'. \tag{15}$$

II. — Nous allons montrer maintenant que le coefficient k n'est pas nul et en trouver la valeur.

Pour cela considérons le système suivant. Un corps de pompe est fermé par une base AAA'A' parfaitement noire sur sa face interne AA ; un piston sans frottement est constitué par un corps opaque BBB'B' doué d'un pouvoir réflecteur ou diffusif uniforme en sa face interne BB. La base ou le piston peuvent recevoir de la chaleur d'une source extérieure au système. Le vide existe entre AA et BB. La température est toujours la même pour les deux corps AAA'A' et BBB'B' ; soit T sa valeur absolue. Des forces extérieures au système équilibrent la pression que le piston peut recevoir des radiations. Dans ces conditions l'état du système ne dépend que de la température T et du volume v contenu entre AA et BB que nous prendrons pour variables indépendantes et celui-ci peut être le siège de transformations réversibles. Nous supposerons enfin que le diamètre du corps de pompe est infini vis-à-vis de la distance de AA à BB.

Si dans ces conditions les radiations exercent une pression p sur BB en faisant varier le volume de dv, le système met en jeu un travail $dW = pdv$. D'autre part, désignons comme ci-dessus par u l'énergie radiante contenue dans l'unité de volume ; l'énergie contenue entre AA et BB est uv ; appelons U_0 la somme des énergies des corps AA, A'A', BB, B'B', et des parois du corps de pompe. Dans une variation élémentaire (dT, dv) on a pour la variation d'énergie dU du système

$$dU = dU_0 + vdu + udv. \tag{16}$$

Appelons dQ la quantité de chaleur fournie par la source pour cette transformation, on a :

$$JdQ = dU + dW = dU_0 + vdu + udv + pdv \tag{17}$$

En appelant C la capacité calorique des corps AA, A'A', BB, B'B' et des parois du corps de pompe, on a $dU_0 = JCdT$ d'où pour la variation d'entropie du système puisque la transformation est réversible :

$$dS = \frac{dQ}{T} = \left(\frac{C}{T} + \frac{v}{JT}\frac{du}{dT}\right) dT + \frac{u+p}{JT} dv. \tag{18}$$

Appliquons la loi de Carnot en écrivant que la différentielle de l'entropie est une différentielle exacte ; il vient en remarquant que C et u ne sont pas fonction de v [voir (7)] :

$$\frac{1}{JT}\frac{du}{dT} = \frac{1}{JT}\frac{du}{dT} + \frac{1}{JT}\frac{dp}{dT} - \frac{u+p}{JT^2}$$

d'où

$$\frac{dp}{dT} = \frac{u+p}{T} \quad \text{ou} \quad \frac{Tdp - pdT}{T^2} = \frac{u}{T^2} dT \tag{19}$$

Cette relation montre que p ne peut pas être nul si u n'est pas nul, c'est-à-dire qu'elle montre l'existence des pressions produites par les radiations. Pour intégrer, remplaçons u par sa valeur (7) ; il vient :

$$d\frac{p}{T} = \frac{2AT^2}{V} dT \tag{20}$$

d'où

$$p = \frac{2AT^4}{3V} + \beta T = \frac{u}{3} + \beta T \tag{21}$$

La constante d'intégration β doit être nulle pour qu'on puisse identifier les expressions (21) et (11). Cette identification donne $\frac{kV}{2} = 1$; d'où en définitive pour la pression p due à des radiations venant uniformément dans tous les sens et pour la pression p' due à des radiations normales d'après (15) :

$$p = \frac{u}{3} \qquad \text{et} \qquad p' = u' \tag{22}$$

Cette dernière relation est bien celle de Maxwell. Nous l'avons obtenue, il est vrai, en supposant que le corps radiant a la même température que le corps qui reçoit la radiation. Si ce dernier corps est parfaitement réfléchissant, peu importe évidemment sa température; dans tous les cas, il paraît peu probable aussi que la température puisse avoir une influence sur la pression qu'il reçoit pour la même énergie radiante contenue dans l'unité de volume ; pourtant ce n'est pas évident.

Remarquons que, si l'on admet la relation $p' = u'$ comme démontrée par une autre voie par la théorie électromagnétique de la lumière par exemple, on déduit de (15) et de (11) $p = \frac{u}{3}$. En portant cette valeur dans la relation (19), celle-ci devient

$$\frac{du}{u} = 4 \frac{dT}{T} \tag{23}$$

d'où par intégration

$$u = aT^4 \tag{24}$$

et en portant cette valeur dans (6), il vient $E = AT^4$; c'est la loi de Stéfan. Ainsi la loi de Maxwell-Bartoli et la loi de Stéfan sont une conséquence l'une de l'autre d'après les principes de la thermodynamique. Boltzmann avait déjà signalé ce rapprochement.

Action des rayons-canal sur l'oxyde de zinc, par **J. Tafel**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 613-619, juillet 1903.

Sous l'action des rayons-canal, l'oxyde de zinc préparé par voie sèche émet une vive fluorescence verte. En même temps, il se dégage un gaz. Si on enlève ce gaz et remue l'oxyde, la fluorescence se renouvelle ainsi que le dégagement de gaz. Ce dernier cesse d'ailleurs alors que la fluorescence est encore très vive. Si on fait agir les rayons-canal très longtemps, sans renouveler la surface, celle-ci prend une coloration brunâtre : en secouant la poudre d'oxyde, on arrive à communiquer cette coloration à toute la masse, qui en même temps devient compacte.

Cette transformation n'est accompagnée d'aucun changement de poids appréciable.

Quand on écrase l'oxyde sous une forte pression dans un mortier d'agate ou de porcelaine, il prend presque la même teinte que sous l'action des rayons-canal : mais il ne devient plus fluorescent sous cette dernière action.

Il semble que ce changement de couleur de l'oxyde de zinc soit dû à la pression. En le comprimant quelques minutes dans une presse à vis, on provoque la coloration de toute la masse et on diminue sa fluorescence.

L'oxyde coloré par la compression ou par les rayons-canal redevient incolore quand on le calcine dans la flamme du chalumeau : il reprend en même temps la propriété de devenir fluorescent, quoique toujours à un degré moindre que l'oxyde fraîchement préparé.

En comparant l'effet de la compression et celui des rayons-canal, on est amené à expliquer l'action de ces derniers par le choc des ions.

L'hypothèse de G.-C. Schmidt d'après laquelle la fluorescence ne se produit que dans les dissolutions solides, ne paraît pas s'accorder avec la diminution rapide de cette fluorescence. Elle expliquerait difficilement aussi la disparition permanente de la fluorescence obtenue par la compression. M. L.

Sur les courants électriques de l'atmosphère, par **Selim Lemstrœm**. *Journal de la Société physico-chimique russe*, t. XXXIV, n° 6, p. 307-315, 1902.

Voici comment l'auteur définit les *courants électriques atmosphériques* qui font l'objet du présent mémoire : Toutes les fois qu'un circuit électrique se trouve interrompu par une couche d'air, on constate l'existence d'un courant atmosphérique, pourvu que la différence de potentiel aux bornes du circuit soit suffisante pour que ce courant puisse se manifester. En dehors des propriétés remarquables dont jouit un courant pareil, l'introduction dans la science de ce terme nouveau est justifiée surtout par le rôle important que les courants atmosphériques jouent dans la nature.

L'auteur s'est, dans ses recherches relatives aux phénomènes en cause, servi surtout d'un dispositif à pointes, désigné sous le nom d' « appareil d'écoulement » et qui consiste en un fil métallique, muni de pointes à des intervalles de 0,50 m et enroulé en spirale sur une baguette en bois. Un autre fil, isolé, relie ce dispositif à un galvanomètre dont la borne opposée est en communication avec une plaque de zinc mise à la terre.

Dans ses expériences faites sur les montagnes, l'auteur a pu observer une lueur très intense entourant cet appareil et qui toujours donnait, dans l'examen spectroscopique, la ligne caractéristique des aurores boréales ($\lambda = 5569$) ; il en conclut que ce phénomène naturel est dû à des courants atmosphériques.

Voici quelques-uns des résultats qu'obtient M. Lemström par des recherches spéciales sur l'appareil précité :

1° Le circuit (comprenant le dispositif à pointes, un galvanomètre et une plaque de zinc mise à la terre) se comporte d'une façon analogue à un circuit ordinaire, composé de conducteurs métalliques. La majeure partie de sa résistance appartient au dispositif à pointes ; sa valeur diminue avec les conditions météorologiques de l'atmosphère.

2° Deux dispositifs à pointes identiques, placés à une même hauteur, donnent, quand on les réunit à travers un galvanomètre, une déviation nulle, c'est-à-dire compensent les effets l'un de l'autre.

3° L'action de la réunion de deux ou de plusieurs appareils similaires, disposés à des hauteurs différentes, est égale à la somme des actions propres de chacun d'eux.

4° La résistance électrique du dispositif à pointes peut être évaluée d'après les procédés ordinaires, pourvu qu'on élimine l'influence des circonstances perturbatrices.

5° La résistance r de deux dispositifs, réunis par un galvanomètre, est à peu près égale à la somme $r' + r''$ des résistances r' et r'' des circuits comprenant l'un ou l'autre de ces dispositifs, le galvanomètre et la plaque de zinc réunis à la terre.

6° Ceci est encore vrai des valeurs réciproques des résistances, $\frac{1}{r}$ étant sensiblement égal à

$$\frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}.$$

Dans la suite de ses recherches, s'étendant sur plusieurs années, l'auteur a été amené à formuler les propositions suivantes ;

a) Non pas seulement dans les pays polaires, mais partout, on constate l'existence dans l'air de courants électriques, allant du haut en bas, mais qui fréquemment changent de signe.

b) Tant la densité que la force électromotrice de ce courant peuvent être déterminées au moyen d'un ou de plusieurs éléments de Daniell, insérés dans le circuit précité. Il faut disposer ces éléments de pile dans les deux sens du courant.

c) La densité des courants atmosphériques éprouve des variations incessantes, et ce dans des limites assez étendues. Il semble que la zone des aurores boréales maxima passe par Sodanklyl, les variations de densité devenant de plus en plus féquentes et fortes, à mesure qu'on se rapproche de cette zone. On remarque en général que, dans les pays polaires, la densité des courants atmosphériques augmente beaucoup, tandis que leur force électromotrice décroît, en raison, semble-t-il, du moins en partie, d'une diminution de la résistance électrique de l'air. Lors d'une aurore boréale, on observe toujours un accroissement considérable des fluctuations du courant atmosphérique, ce qui démontre la relation intime qui doit exister entre les deux phénomènes.

Les courbes représentatives des variations de la force électromotrice des courants atmosphériques et celles des potentiels électrostatiques de l'air, observés en même temps au moyen de l'électromètre, tout en présentant quelques analogies, se montrent essentiellement différentes les unes des autres, quant aux détails, prouvant par là la diversité de principe qui existe entre ces deux ordres de phénomènes.

Quant à l'influence des conditions atmosphériques sur la résistance de l'air, l'auteur insiste surtout sur le rôle qu'y joue l'eau. Cette dernière s'y trouve, en majeure partie, à l'état de vapeur ; une autre portion, et qui en général est très appréciable, prend toutefois la forme de petits globules liquides suspendus en l'air et qui, évidemment, exercent une influence relativement considérable sur la résistance électrique de ce dernier. Cette influence se manifeste par les variations du courant atmosphérique avant et après une pluie. A mesure que l'humidité s'accroît, la densité du courant positif va en diminuant jusqu'au commencement de la pluie, pour alors changer de sens. Pendant la pluie, le courant éprouve des fluctuations très marquées, prenant un signe tantôt positif, tantôt négatif, tandis qu'après la pluie, le courant reprend son signe positif et s'accroît graduellement.

Les courants atmosphériques exercent une

influence aussi sur les aiguilles magnétiques ; l'auteur constate qu'un courant vertical, allant du haut en bas, donne lieu à une déviation orientale, lorsqu'il passe au nord de l'aiguille, et inversement.

Faisons remarquer aussi l'action de ces courants sur la végétation. L'auteur attribue à cette action le développement rapide de la végétation pendant le court été polaire.

Voici enfin quelques faits établis par des expériences où l'on produisait artificiellement les phénomènes en question et qui complètent la théorie des courants atmosphériques :

Lorsque le courant sort d'une pointe, réunie au pôle négatif d'une machine à induction dont le pôle positif est mis à la terre, il fait s'élever l'eau et les solutions salines dans des tubes capillaires étroits, disposés en dessous des pointes et au sein d'un liquide relié à son tour à la terre. Cet effet, qui se manifeste jusqu'à des distances de 0,75 m, est proportionnel au temps et dépend des dimension du tube capillaire.

Les courants atmosphériques sortant d'une pointe donnent lieu à des combinaisons chimiques : l'ozone, les acides nitrique et nitreux et, probablement, l'ammoniac. Quand on l'amène à des plantes, on constate qu'un courant négatif aspire les sucs végétaux dans les vaisseaux de la plante, alors que les courants positifs, non seulement produisent les combinaisons chimiques précitées, mais encore les poussent dans les vaisseaux capillaires.

Lorsque le courant sort d'une pointe située à l'extrémité supérieure du fil, l'autre extrémité duquel est réunie à l'un des pôles d'une machine électrique, alors que l'autre pôle de cette dernière est en relation avec la terre, et si les armatures intérieures de bouteilles de Leyde sont disposées sur des surfaces sphériques entourant la pointe, et que les armatures extérieures soient mises à la terre, l'on observe sur ces bouteilles de Leyde des charges dont le potentiel dépend des détails de la disposition.

En raison des multiples et intéressants phénomènes présentés par les courants atmosphériques et du rôle important qu'ils jouent dans la nature, l'auteur conseille d'en faire des études méthodiques dans les observatoires.

A. Gradenwitz.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 27 juillet 1903.

Préparation et propriétés d'un siliciure de ruthénium, par **Henri Moissan** et **Wilhem Manchot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 229-232.

Lorsque l'on chauffe au four électrique un mélange, de 1,5 gr de ruthénium en poudre et de 7 gr de silicium cristallisé, placé dans une nacelle de charbon au milieu d'un tube de même substance, on obtient rapidement la fusion du mélange, puis la combinaison se produit; elle est accusée par un rapide dégagement de vapeur, enfin le liquide redevient tranquille et, à ce moment, on arrête l'expérience. Cette dernière ne demande pas plus de deux à trois minutes avec un courant de 600 ampères sous 120 volts. Au moment de la combinaison, une certaine quantité de métal a été volatilisée sous forme de vapeur brune [1].

On obtient, dans ces conditions, un culot métallique bien fondu et qui présente toujours le même aspect lorsque l'on fait varier le poids du silicium du simple au double. Cette substance est concassée, réduite en poudre, puis traitée par une lessive de soude au bain-marie et, ensuite, par un mélange d'acide fluorhydrique et d'acide nitrique. Il reste, après ces traitements, des cristaux blancs, brillants, mélangés à des quantités variables de carborundum que l'on peut séparer, grâce à leur différence de densité, au moyen de l'iodure de méthylène.

[1] Il est important que le courant du four électrique soit très constant; sans quoi, les résultats ne sont pas comparables.

Le même composé peut être obtenu dans un état de pureté plus grand, en chauffant au four électrique, dans un creuset de charbon, un mélange de 1,5 gr de ruthénium, 15 gr de silicium et 5 gr de cuivre. La réaction se produit alors avec plus de régularité à la température d'ébullition du siliciure de cuivre et, après le même traitement que précédemment, on obtient un siliciure de ruthénium très bien cristallisé, exempt de siliciure de carbone et répondant à la formule RuSi. Le rendement est d'environ 80 p. 100 du poids de ruthénium mis en expérience [1].

Les auteurs décrivent ensuite les propriétés chimiques de ce siliciure puis le procédé d'analyse qui a permis de déterminer sa composition.

Du dichroïsme électrique des liqueurs mixtes, par **J. Chaudier**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 248-250.

Dans une série de notes sur le dichroïsme magnétique [2], M. Meslin a étudié les modifications que subit la lumière naturelle, lorsqu'elle traverse certaines liqueurs mixtes (liquides contenant en suspension des particules cristallines), placées dans un champ *magnétique*. Il a également signalé une modification analogue produite dans un champ *électrique* avec la liqueur constituée par le sulfure de carbone et l'hélianthine. Sur les conseils de M. Meslin, M. Chaudier s'est proposé de vérifier si d'autres liqueurs mixtes présentaient cette propriété et de déduire les lois du phénomène de cette étude expérimentale.

Une cuve en verre est placée sur un support en ébonite, entre deux plateaux métalliques circulaires et parallèles, soigneusement isolés. Un faisceau de lumière parallèle aux plateaux traverse la cuve; il est reçu à sa sortie sur un polariscope à biquartz de Soleil. L'un des plateaux communique avec le sol, l'autre est relié soit à l'un des pôles d'une machine de Wimshurst, soit à l'armature interne d'une bouteille de Leyde dont l'armature externe est au sol.

[1] Lorsque l'on emploie dans cette préparation une quantité de cuivre plus grande, il se forme un autre siliciure moins riche en silicium qui, légèrement chauffé, prend feu dans un courant de chlore.

[2] Voir séances des 6 et 14 avril, 4 mai, 2 et 5 juin 1903, *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 156, 159; 354 et t. XXXVI, p. 33 et 80.

On vérifie d'abord que le champ électrique produit ne donne pas naissance au phénomène de Kerr : pour cela, on constate que le liquide constituant de la liqueur mixte, placé dans la cuve, ne manifeste pas de biréfringence, puis on ajoute au liquide des particules cristallines, et, en maintenant le champ primitif, on observe au polariscope les modifications subies par la lumière. Un certain nombre de liqueurs présentent un dichroïsme sensible; mais, avec ces liqueurs actives, le dichroïsme exige un certain temps pour apparaître et pour disparaître après la suppression du champ. Par ce caractère, le phénomène étudié se différencie du phénomène de Kerr, qui est instantané.

La plupart des liqueurs actives présentent le dichroïsme *spontané* [1], qu'il faut déduire du dichroïsme total observé.

Résultats. — 1° Les liquides qui entrent dans la composition des liqueurs actives sont des composés non oxygénés, à constante diélectrique peu élevée. Les principaux liquides employés sont :

Le sulfure de carbone, la nitrobenzine, le cinnamène, le cumène, la benzine, le toluène, le xylène, l'essence de térébenthine, le tétrachlorure de carbone, le chloroforme, le pétrole lampant, l'amylène.

L'eau, les alcools, les aldéhydes, les acétones, les acides et d'une façon générale les liquides à constante diélectrique élevée, associés à divers solides, n'ont pas donné de dichroïsme appréciable.

Les solides actifs présentent, sans exception, une structure cristalline; les principaux sont les suivants :

L'acide gallique, l'acide pyrogallique, l'acide picrique, la chrysophénine, l'hélianthine, l'acide borique, le citrate de potasse, le benzoate de chaux, le benzoate d'ammoniaque, le bicarbonate de soude.

Il ne paraît pas exister de relation directe entre les caractères chimiques du solide et le dichroïsme électrique qu'il peut produire lorsqu'on l'associe à un liquide convenable; le phénomène semble dépendre de la constitution physique des particules cristallines (forme lamellaire, indice, densité).

2° Comme le dichroïsme magnétique, le

[1] Voir séance du 29 juin 1903, p. 1642.

dichroïsme électrique est susceptible d'être caractérisé par un signe ; mais, pour un même solide, le dichroïsme peut être positif ou négatif suivant le liquide qui le tient en suspension. Ainsi, l'acide borique présente le dichroïsme positif avec l'amylène, et le dichroïsme négatif avec le cinnamène, le cumène, la benzine, l'essence de térébenthine et le pétrole. Le benzoate de chaux présente le dichroïsme positif avec le pétrole et l'amylène, et le dichroïsme négatif avec le cinnamène et le cumène.

Des changements de signe peuvent aussi se produire, lorsqu'on associe à un même liquide des solides différents : la benzine avec la crysophénine, le citrate de potasse et le benzoate de chaux donne naissance à un dichroïsme positif, tandis que ce liquide donne naissance à un dichroïsme négatif avec l'hélianthine, l'acide borique, l'acide gallique et le benzoate d'ammoniaque.

De ces inversions il résulte que, dans le champ électrique comme dans le champ magnétique, le signe du dichroïsme dépend des deux constituants des liqueurs mixtes, et que l'effet observé est un effet relatif.

3° Le dichroïsme des liqueurs actives à la fois dans un champ magnétique et dans un champ électrique, n'est pas toujours affecté du même signe : avec le sulfure de carbone, l'hélianthine présente un dichroïsme *positif* dans le champ magnétique et *négatif* dans le champ électrique ; on constate un changement de signe analogue en associant la chrysophénine au sulfure de carbone.

De plus, les modifications subies à la sortie de la liqueur par les composantes parallèles et perpendiculaires aux lignes de force du champ, sont différentes dans le champ magnétique et dans le champ électrique. Tandis que la lumière émergente est polarisée en général *rectilignement* dans le champ magnétique, elle est polarisée *elliptiquement* dans le champ électrique et on a observé une biréfrigérence notable avec toutes les liqueurs étudiées.

Séance du 3 août 1903.

Relations entre les piles à plusieurs liquides, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 285-291.

Dans cette note l'auteur fait connaître les résultats de déterminations entreprises en vue de vérifier par l'expérience diverses relations que l'on peut facilement déduire des lois de Volta sur les différences de potentiel au contact.

I. La force électromotrice d'un élément formé de deux liquides A et B et de deux électrodes M et M' plongeant dans le liquide A, est

$$E_{AB} = M \mid A + A \mid B + B \mid M' + M' \mid M.$$

Celle de l'élément réciproque, c'est-à-dire formé des mêmes électrolytes et électrodes, mais M' plongeant alors dans le liquide A, est

$$E_{BA} = M \mid B + B \mid A + A \mid M' + M' \mid M.$$

Si l'on considère maintenant les deux éléments à un seul liquide que l'on peut former avec les mêmes électrodes et en prenant successivement chacun des électrolytes, on a pour leurs forces électromotrices :

$$E_A = M \mid A + A \mid M' + M' \mid M,$$
$$E_B = M \mid B + B \mid M' + M' \mid M,$$

et l'on voit que si l'on admet l'égalité $A \mid B = - B \mid A$, on a

$$E_{AB} + E_{BA} = E_A + E_B. \qquad (1)$$

Cette relation a été parfaitement vérifiée par les déterminations faites sur divers éléments dont les électrodes étaient deux des métaux : zinc, cuivre, platine, et dont les électrolytes étaient deux ou une des dissolutions : sulfate de zinc, sulfate de sodium, acide sulfurique, acide borique.

II. Considérons les deux éléments dont les forces électromotrices ont été désignées par E_{AB} et E_{BA}, deux autres ne différant de ceux-ci que par le remplacement de l'électrode M par une électrode M'', et enfin deux autres encore obtenus en remplaçant dans les premiers l'électrode M' par M''. On trouve facilement la relation

$$E_{AB} + E_{AB} + E'_{AB} + E'_{BA} = E''_{AB} + E''_{BA}, \qquad (2)$$

qui a été vérifiée par l'expérience.

Avec les deux électrolytes A et B et les trois électrodes M, M', M'', on peut former trois éléments à deux liquides et à deux électrodes de même nature ; en appelant *a*, *b*, *c*, les forces

électromotrices de ces éléments, on a

$$\left.\begin{array}{l} E_{AB} - E_{BA} = a + b ; \\ E'_{AB} - E'_{BA} = b + c, \\ E''_{AB} - E''_{BA} = c + a. \end{array}\right\} \quad (31)$$

Ces relations donnent avec les relations [2], les suivantes

$$\left.\begin{array}{l} 2\,E_{AB} = (a + b) + (E_A + E_B), \\ 2\,E_{BA} = -(a + b) + (E_A + E_B), \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right\} \quad (4)$$

qui permettent de nouvelles vérifications expérimentales.

III. En tenant compte seulement des inversions entre les deux électrodes terminales, pour les éléments de pile constitués par des liquides identiques et disposés dans le même ordre relatif, les relations [2] et [3] demeurent applicables aux piles à 3, 4, 5,... liquides contenus dans des vases poreux concentriques, ou consécutifs. Il suffit, pour le montrer *a priori*, d'observer que les formules précédentes ne dépendent que de ces électrodes, et de remplacer la valeur relative au contact entre deux liquides, tels que A | B et B | A, par la somme des valeurs des deux contacts entre liquides contigus, A | B + B | C et C | B + B | A ; ou par un plus grand nombre, s'il s'agit de piles à 4, 5 liquides, etc. ; bien entendu pourvu que l'on admette par hypothèse que la différence électrique entre les deux sommes A | B + B | C et C | B + B | A et analogues est nulle.

M. Berthelot a vérifié en fait l'exactitude approximative de ces résultats du calcul pour 3, 4, 5 liquides.

On démontre de même l'exactitude de la relation suivante entre les éléments à trois liquides et les éléments à deux liquides :

$$E_{ABC} + E_{BAC} + E_{ACB} = E_{AB} + E_{AC} + E_{BC},$$

où E_{ABC}, E_{BAC}, E_{ACB} sont les forces électromotrices des éléments de pile constitués par trois liquides identiques, mais distribués dans un ordre différent, avec deux électrodes identiques MM.

On peut également trouver une relation entre les piles à trois liquides et les piles à un liquide, avec deux électrodes différentes MM′ ; relation analogue à l'équation [1], relative à deux liquides, soit :

$$E_{ABC} + E_{CBA} + E_{BAC} + E_{CAB} + E_{ACB} + E_{BCA} = 2\,(E_A + E_B + E_C).$$

En général, soit un élément de pile constitué par une suite de n liquides concentriques ou consécutifs, A_1, A_2, A_3, ..., A_n, compris entre deux électrodes M et M′ ; la force électromotrice de cet élément étant $E_{A_1A_2 \ldots A_n}$; le nombre des éléments qui pourront résulter des arrangements différents de ces éléments et électrodes sera représenté par 1. 2. 3... n. Si l'on admet les compensations sus-indiquées entre les différences de potentiel des liquides en contact, on obtient entre la somme des forces électromotrices des éléments à n liquides et celles des éléments à un seul liquide compris entre les mêmes électrodes la relation suivante

$$\Sigma E_{A_1A_2 \ldots A_n} = 1.\,2.\,3 \ldots (n-1) \left\{ E_{A_1} + E_{A_2} + \ldots + E_{A_n} \right\}.$$

Il est facile de construire des formules analogues aux précédentes et d'autres encore pour les éléments de pile à 3, 4, 5, ... liquides ; ces relations se vérifient approximativement, d'après les données expérimentales. « Cependant, ajoute l'auteur, la valeur de semblables vérifications devient moins certaine, à mesure que l'on y fait concourir à chacune d'elles un plus grand nombre de données, en raison de la proximité des valeurs numériques observées dans les comparaisons et des compensations qui en résultent entre les quantités similaires, ainsi que je l'ai montré plus haut. Ces compensations ne fournissent d'ailleurs aucune indication sur les valeurs individuelles relatives aux contacts AB et analogues et n'autorisent pas à les considérer comme nulles.

« Les mêmes circonstances rendent difficile l'évaluation exacte de l'influence réciproque des liquides interposés ; quoique cette influence soit nettement manifeste dans bien des cas. A cet égard, il convient de rappeler aussi l'égalité entre certaines sommes ou différences de potentiels, telle que celle que j'ai établie entre la force électromotrice du système : acide + base, et la somme de celles des deux systèmes : acide + sel, et base + sel. »

Remarques concernant les relations entre les piles constituées par les mêmes liquides, compris entre deux électrodes différentes ou identiques, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 291-292.

» Voici les mesures obtenues avec divers éléments de pile, terminés par deux électrodes

métalliques différentes, en opérant toujours avec des liqueurs de même concentration moléculaire.

» Système à trois liquides et deux électrodes différentes, dont l'une au moins est chaque fois en contact avec un liquide différent :

$SO^4Na^2 : SO^4Zn.SO^4H^2$.

ZnCu : 0,97 + CuZn : 1,11 = 2,08
ZnPt : 1,52 + PtZn : 1,36 = 2,88
CuPt : 0,57 + PtCu : 0,32 = 0,89

$SO^4Zn.SO^4Na^2.SO^4H^2$.	$SO^4Na^2.SO^4H^2.SO^4Zn$.
1,03 + 1,12 = 2,15	1,03 + 1,16 = 2,08
1,63 + 1,55 = 3,18	1,44 + 1,40 = 2,84
0,51 + 0,40 = 0,91	0,39 + 0,31 = 0,70

» Deux liquides :

$SO^4Na^2.SO^4Zn$.

ZnCu : 0,94 + CuZn : 1,06 = 2,00
ZnPt : 1,39 + PtZn : 1,55 = 2,94
CuPt : 0,38 + PtCu : 0,52 = 0,90

$SO^4Na^2SO^4H^2$.	$SO^4Zn.SO^4H^2$.
1,03 + 1,22 = 2,15	1,03 + 1,19 = 2,22
1,49 + 1,30 = 2,82	1,60 + 1,58 = 3,18
0,30 + 0,56 = 0,86	0,53 + 0,40 = 0,93

» Un liquide :

SO^4Na^2.

ZnCu : 1,03 × 2 = 2,06
ZnPt : 1,19 × 2 = 2,38
CuPt : 0,35 × 2 = 0,70

SO^4Zn.	SO^4H^2
1,03 × 2 = 2,06	1,08 × 2 = 2,16
1,44 × 2 = 2,88	1,61 × 2 = 3,22
0,57 × 2 = 1,14	0,59 × 2 = 1,18

» On remarquera que les piles Zn Cu et réciproques offrent des valeurs à peu près identiques, malgré la diversité des liquides en contact avec chaque métal. En outre, ces valeurs sont à peu près les mêmes pour les piles à deux liquides et pour les piles à un seul liquide ; comme si la force électromotrice dépendait seulement des deux métaux, quel que fût le liquide en contact. Cette relation a été observée également en prenant pour les liquides A, B, C :

» Les trois systèmes formés par SO^4Na^2, SO^4Cu, SO^4H^2 ;

» Les trois systèmes formés par SO^4Na^2, SO^4Zn, SO^4H^2 ;

» Les trois systèmes formés par SO^4Na^2, SO^4Cu, SO^4Zn ;

» Les trois systèmes formés par SO^4Na^2, SO^4Zn, NaOH ;

» Par SO^4Na^2, SO^4Cu, NaOH ; par SO^4Zn, SO^4Cu, NaOH ;

» Par SO^4Na^2, SO^4H^2, NaOH ; par SO^4Cu, SO^4H^2, NaOH ;

» Par SO^4Zn, SO^4H^2, NaOH ; par SO^4Zn, SO^4Cu, NaOH ; à l'exception des systèmes où l'électrode Zn est en contact avec un alcali libre, ou bien avec un sel de cuivre.

» Avec tous ces systèmes les valeurs ZnCu et CuZn sont presque identiques ; les écarts sont plus marqués, lorsque le platine forme l'une des électrodes, sans être cependant considérables.

» On peut rendre compte de ces observations jusqu'à un certain point, en remarquant que les valeurs observées paraissent dépendre surtout de la différence électrique qui résulte du contact des deux métaux avec l'oxygène (de l'air), c'est-à-dire de la différence de leurs chaleurs d'oxydation, plutôt que de la nature des liquides qui sont en contact avec ces métaux, laquelle joue un rôle secondaire. En effet, Zn + O dégage : 83,5 calories ; Cu + O : 37,7 calories ; Pt + O : environ 18 calories. Dès lors la différence Zn Cu, estimée pour une seule valence, d'après la loi de Faraday, équivaudrait à $\frac{1}{2}(83,5 - 37,7) = 22,9$ calories, ce qui répond à 1,0 volt, sensiblement. Zn Pt équivaudrait à 32,7 calories = 1,4 volt ; Cu Pt à 9,8 calories = 0,4 volt ; toutes valeurs voisines des forces électromotrices observées.

» Il y aurait dès lors une diversité essentielle entre les forces électromotrices des éléments de pile à deux électrodes métalliques différentes, lesquelles dépendraient principalement de l'opposition des deux métaux extrêmes, le rôle des contacts entre liquides et métaux étant subordonné ; et les forces électromotrices des éléments de pile à électrodes identiques, lesquelles dépendent au contraire des contacts entre un même métal et deux liquides différents. »

***Préparation au four électrique d'un carbure double de chrome et de tungstène*, par Henri Moissan et A. Kouznetzow.**

On ne connaît jusqu'ici qu'un très petit nombre de carbures doubles métalliques. MM. Carnot et Goutal [1] ont indiqué l'existence de plusieurs

[1] Carnot et Goutal, Recherches sur l'état où se

de ces composés dans les ferrochromes et dans les aciers.

D'autre part, M. Williams a préparé les carbures doubles de fer et de tungstène, de fer et de chrome, de fer et de manganèse ([1]).

En étudiant différents alliages de tungstène, MM. Moissan ([2]) et Kouznetzow ont eu l'occasion de préparer un carbure double de chrome et de tungstène.

Pour préparer ce carbure double, on chauffe au four électrique, dans un creuset de charbon, un mélange de 100 gr de sesquioxyde de chrome, 45 gr d'acide tungstique et 30 gr de coke de pétrole ou de charbon de sucre. La durée de la chauffe est de 5 minutes, et il est utile de ne pas employer un courant d'une trop grande intensité : 400 ampères sous 75 volts sont suffisants. On obtient ainsi un culot d'apparence métallique, homogène et bien fondu, présentant dans sa cassure l'aspect de cristaux enchevêtrés.

Ce culot métallique est pulvérisé, puis traité à chaud par l'acide chlorhydrique ; on lave à l'eau et l'on fait digérer ensuite avec une solution ammoniacale concentrée, de façon à dissoudre les parcelles d'acide tungstique qui peuvent se trouver comprises entre les lamelles cristallines. Cette poudre est enfin lavée à l'eau et séchée.

Le même carbure double peut être préparé par une autre méthode. On fond au four électrique, toujours en évitant autant que possible la vapeur de carbone de l'arc, un mélange de chrome et de tungstène métallique additionné d'une petite quantité de charbon de sucre en présence d'un grand excès de cuivre : (tungstène, 7,5 gr ; chrome, 10 gr ; carbone, 0,2 gr ; cuivre, 150 gr). La masse est fondue rapidement, dans un creuset de charbon, et l'on maintient le cuivre à l'ébullition pendant 1 ou 2 minutes. Après refroidissement, il reste dans le creuset un culot métallique homogène qui est attaqué par un excès d'acide nitrique et qui abandonne de petites géodes cristallines à aspect métallique, qui sont formées du même carbure double : $Tu^2C, 3Cr^3C^2$.

trouvent le silicium et le chrome dans les produits sidérurgiques (*Comptes rendus*, t. CXXVI, 1898, p. 1240) et Recherches sur la constitution chimique des fontes et des aciers, par MM. Carnot et Goutal (*IVe Congrès de Chimie appliquée*, t. I, p. 418).

([1]) P. Williams, Sur un carbure double de fer et de tungstène et carbures doubles de fer et de chrome, de fer et de manganèse (*Comptes rendus*, t. CXXVII, 1898, p. 410 et 483 et *Écl. Élect.*, t. XVII, p. 175).

([2]) H. Moissan, *Le four électrique*, p. 208.

Sur le télékine, par **L. Torres**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 317-319.

Sous ce nom l'auteur désigne un système destiné à commander de loin la manœuvre d'une machine au moyen d'un télégraphe avec ou sans fil.

M. Torrès est parvenu à réaliser, au laboratoire de Mécanique de la Sorbonne, dirigé par M. Kœnigs, un appareil de démonstration qu'il a fait fonctionner devant l'Académie. Cet appareil comprend une hélice et un gouvernail dont les mouvements sont commandés par des appareils de télégraphie sans fil O. Rochefort.

En attendant que nous puissions publier ici avec dessins à l'appui une description détaillée de cet intéressant appareil, nous reproduisons intégralement la note dans laquelle il en indique le principe :

« Il y a lieu d'établir une différence radicale entre le télékine simple et le télékine multiple. Le premier sert à commander seulement un mouvement à un degré de liberté (par exemple celui d'un levier qui tourne autour de son axe) ; le second sert à commander plusieurs mouvements différents.

» Le télékine simple est constitué par un appareil télégraphique qui, à chaque signal transmis, fait avancer d'un pas une aiguille qui tourne sur un cadran, comme dans le télégraphe Bréguet, et d'un servomoteur dont les mouvements sont commandés par cette aiguille. On a recours à un servomoteur électrique, et le rôle de l'aiguille se limite à entraîner un ou plusieurs balais, qui glissent sans frottement appréciable sur un disque garni de plots ; la position de l'aiguille détermine l'établissement ou l'interruption des contacts qui peuvent avoir lieu entre les balais et les plots, et règle, par ce fait, la marche du servomoteur.

» La commande peut se faire de plusieurs manières ; j'en indiquerai trois, qui me paraissent particulièrement intéressantes. Nous supposerons, pour fixer les idées, que l'aiguille de l'appareil télégraphique commande un servomoteur destiné à manœuvrer la barre du gouvernail d'un bateau.

» 1° *Commande directe.* — L'aiguille sert elle-même de commutateur ; elle doit admettre trois positions, qui correspondent au repos, à la marche en avant et à la marche en arrière du moteur. Cela permettra d'amener chaque fois le gouvernail à la position voulue.

» 2° *Orientation arbitraire du gouvernail par rapport au bateau.* — Sur le même axe que l'aiguille de l'appareil télégraphique est monté un disque D, en matière isolante, qui porte deux plots, P, P′, en forme d'arc de cercle, embrassant chacun un angle presque égal à deux droits et laissant entre eux deux espaces E, E′ diamétralement opposés. Ce disque n'a aucune liaison mécanique avec l'aiguille et peut tourner librement. L'aiguille porte un balai qui glisse sur les deux plots P, P′. Un courant électrique qui passe par le balai et par le plot avec lequel il est en contact, fait que le disque D, commandé directement par le servomoteur, tourne dans un sens quand le contact a lieu avec P et dans le sens contraire quand il a lieu avec P′ ; cela a pour effet, un moment de réflexion le fait comprendre aisément, de ramener un des espaces E, E′, toujours le même, en contact avec le balai ; en d'autres termes : le disque, entraîné par le servomoteur, marche de telle sorte que le diamètre E, E′ prend la même orientation que le balai.

» 3° *Détermination arbitraire du rhumb du bateau.* — Imaginons un disque Δ qu'on peut orienter arbitrairement, comme le disque D du cas antérieur ; montons une boussole sur l'axe de ce disque, et dans sa périphérie deux buttoirs B, B′, entre lesquels est emprisonnée une des extrémités de la boussole, tout en lui laissant un certain jeu, de façon qu'elle ne touche pas les deux buttoirs en même temps. La boussole, en touchant un des buttoirs, établira un courant et fera marcher le servomoteur dans un certain sens si le courant passe par B, et dans le sens contraire s'il passe par B′ ; le servomoteur agira directement sur le gouvernail et le déviera, dans chaque cas, de façon à faire que le diamètre du disque Δ équidistant de B et de B′ vienne se placer dans la direction du méridien magnétique. Or, comme l'on peut orienter arbitrairement ce diamètre par rapport au bateau, on peut, en somme, orienter le bateau par rapport au méridien magnétique.

» Le télékine multiple sert à manœuvrer plusieurs appareils A_1, A_2, A_3, ... avec une seule ligne de télégraphie sans fil. Pour faire que chaque signal agisse sur l'appareil auquel il est destiné, et non pas sur un autre, on met à profit la différence de durée de ces signaux, différence analogue à celle qui existe entre les points et les traits du télégraphe Morse. A cet effet, il y a un appareil, nommé *distributeur*, qui envoie chaque *trait* dans un circuit γ et chaque *point* dans un circuit α.

» En passant dans le circuit γ le courant fait avancer d'un pas une aiguille C, qui sert de commutateur.

» Le courant du circuit α agit chaque fois sur l'un des appareils A_1, A_2, A_3 ... ; sur celui qui est en circuit quand le courant passe, et c'est précisément l'aiguille C qui, par sa position, que nous pouvons régler arbitrairement, déterminera l'entrée en circuit de tel appareil que nous voudrons, à l'exclusion de tous les autres.

» Les organes mécaniques du commutateur et de chacun des appareils A_1, A_2, A_3 ... étant les mêmes que ceux d'un télékine simple, il me suffira de donner une description sommaire du distributeur.

» Il comprend : 1° une pièce M, d'inertie relativement considérable, qui porte deux plots P, P′, et tend à tourner autour d'un axe, sous l'action d'un ressort qui la pousse ; 2° une pièce N, qui, dans sa position normale, empêche la pièce M de tourner, et qui porte un plot π, lequel peut dans certains cas, entrer en contact soit avec P, soit avec P′.

» Tout signal électrique reçu, point ou trait agit sur un électro E, qui déplace la pièce N et permet le mouvement de la pièce M, entraînée par le ressort; dès que le courant cesse, un ressort antagoniste de l'électro E ramène la pièce N, et dans ce mouvement de retour, le plot π vient en contact soit avec P, soit avec P′; cela dépend de l'angle parcouru pendant la durée du signal, point ou trait, par la pièce M qui est à entraînement lent à cause de son inertie.

» Quand le courant passe par P, il agit sur le commutateur; quand il passe par P′, il agit sur l'appareil A_i qui se trouve en circuit; dans les deux cas, il agit sur un électro dont l'action remet les pièces M et N dans leur position normale, prêtes à recevoir un nouveau signal.

» Parmi les nombreuses applications dont le télékine est susceptible, on peut signaler les

essais de ballons dirigeables, qui pourraient être réalisés avec une économie très considérable et sans aucun danger pour l'expérimentateur; et la direction des torpilles sous-marines, qui serait particulièrement intéressante, si l'on peut obtenir la syntonie du télégraphe sans fil, pour empêcher que l'ennemi puisse envoyer des signaux et perturber la commande de l'appareil. »

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 3 juin (¹).

La première communication technique sur un ***Voltmètre enregistreur universel et contact tournant***, est présentée par **M. J. Carpentier**; nous ne faisons que la signaler, ces appareils ayant été décrits récemment ici par M. Armagnat (²).

M. Marius Latour expose ensuite quelques considérations générales sur un ***nouveau matériel à courant alternatif simple*** dont le principe a déjà été donné par l'auteur dans ce journal (³). Cette communication renfermant des indications plus complètes que celles contenues dans l'article que nous venons de rappeler, nous la reproduisons intégralement ci-dessous :

« L'éducation que notre esprit a maintenant acquise en matière de courants alternatifs est telle qu'un système de courants polyphasés semble seul nous apparaître comme la forme définitive et rationnelle sous laquelle on doit mettre en jeu l'énergie électrique. La production, l'utilisation de cette énergie, en effet, se font avec les courants polyphasés, à couple constant, dans des conditions supérieures de rendement et d'exploitation spécifique des matériaux. Aussi, n'est-ce qu'à regret, en quelque sorte, que l'on s'attache aujourd'hui à des recherches dont la tendance est d'instaurer, dans les grandes applications de l'électricité, le règne du courant alternatif simple.

» Cependant, au point de vue de la simplicité dans la transmission, de la captation et de la manipulation de l'énergie, la supériorité du courant alternatif simple sur les courants triphasés a été assez manifeste pour retenir l'attention des électriciens. Au surplus, en dehors de cette remarque d'ordre général, je crois intéressant de rappeler que la prétendue économie de cuivre souvent signalée en faveur des courants triphasés n'existe pas (¹). En effet, en supposant le point neutre au sol, on s'assure facilement qu'une tension V entre deux fils en

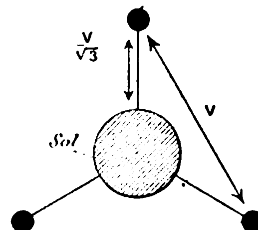


Fig. 1.

courants triphasés (fig. 1) équivaut à une tension entre fils $V \frac{2}{\sqrt{3}}$ en courant alternatif simple (fig. 2), de telle sorte que l'économie de cuivre découverte par l'arithmétique n'est obtenue, en réalité, qu'en faisant travailler les isolateurs dans des conditions plus pénibles avec les courants triphasés qu'avec du courant alternatif simple. Enfin, si l'on relie un pôle à la terre en établissant un retour par le sol, par les rails dans le cas de la traction, il est facile de s'assurer qu'on a une utilisation de ce retour plus complète avec le courant alternatif simple qu'avec des courants triphasés.

» Le courant efficace capté sur la ligne aérienne étant I en courant alternatif simple, la somme des deux courants efficaces captés en courants triphasés devra être $I \frac{2}{\sqrt{3}}$.

» Ainsi donc, au point de vue de la transmission de l'énergie, les courants triphasés ne sauraient présenter que des inconvénients. La seule supériorité des courants polyphasés, en général, réside uniquement dans l'emploi, auquel ils conduisent, de machines plus légères, plus faciles à coupler et susceptibles d'avoir un démarrage plus facile et plus puissant.

» En ce qui concerne la légèreté du matériel générateur, il est certain que l'application des

(¹) D'après le *Bulletin de la Société internationale des électriciens*, 2ᵉ série, t. III, p. 295-32.

(²) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 401, 13 juin 1903.

(³) Voir *Écl. Élect.* t. XXXIV, p. 225, 14 février 1903.

(¹) Voir *Écl. Élect.* t. XXVI, p. 250, 16 février 1901.

turbines à vapeur, combinée avec la mise en exploitation des divers procédés de compoundage découverts dans ces derniers temps, est susceptible de porter assez loin la réduction du poids des machines pour que le retour pré-

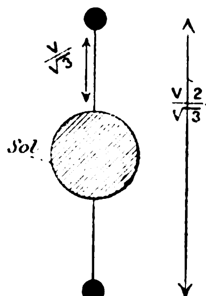


Fig. 2.

sumé du courant alternatif simple passe inaperçu. En ce qui concerne les moteurs, il a paru intéressant, de divers côtés, de réintroduire le collecteur en courants polyphasés :

» 1° Pour obtenir un facteur de puissance élevée en régime normal;

» 2° Pour obtenir, suivant des idées anciennes, une vitesse *asynchrone* sans dissipation d'énergie dans des résistances.

» Mais ce même collecteur nous procure précisément, en courant alternatif simple, en même temps que ces deux avantages, celui d'un démarrage énergique et immédiat.

» L'infériorité dans laquelle nous tenons le courant alternatif simple provient sans doute, un peu, de ce que l'on a généralement étudié les moteurs à courant alternatif simple en partant des moteurs à courants polyphasés et que l'on a, de divers côtés, cherché à démarrer en créant artificiellement un mauvais champ tournant imité de celui des moteurs à courants polyphasés.

» Aujourd'hui, au contraire, je vous présenterai en quelque sorte le courant alternatif simple « chez lui » dans des types de moteurs qui lui sont spéciaux.

» Dans ces derniers temps, M. Lamme, de la Compagnie américaine Westinghouse, et la maison Brioschi et Finzi, de Milan, ont fixé l'attention des électriciens sur le moteur série à collecteur que vous connaissez tous. Avant de parler des inconvénients de ce moteur, il me paraît intéressant de vous faire connaître quelle devrait en être, à mon avis, la construction particulière. L'inducteur serait construit comme un stator bobiné de moteur d'induction. Admettant un bobinage inducteur analogue à celui des induits de dynamos à courant continu, on relierait ensemble les points équipotentiels diamétralement opposés du bobinage inducteur, de telle sorte que le flux de réaction de l'induit serait anéanti à toute vitesse, par simple induction statique et sans enroulement spécial. L'entrefer serait aussi faible que de bonnes conditions mécaniques le permettraient. Un semblable moteur est représenté par la figure 3.

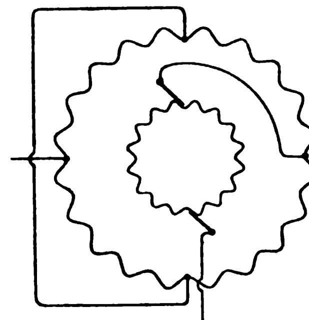


Fig. 3.

» Les balais restent, à toute charge, calés suivant la ligne perpendiculaire à la direction du flux inducteur. La commutation du courant introduit par les balais se fait de façon parfaite à toute allure. Mais, malheureusement, la force électromotrice induite de façon statique dans les sections en court-circuit sous les balais, par le champ inducteur, donne lieu à un courant de court-circuit dont la rupture est généralement accompagnée d'étincelles. Ces étincelles se produisent à toute vitesse. D'ailleurs, le courant de court-circuit produit un échauffement parasite des balais.

» Au démarrage, l'excès de courant est seulement limité par la self-induction de l'enroulement inducteur. Cette self-induction est d'autant plus faible que la production du champ exige peu d'ampèretours. C'est dire que la grandeur du couple de démarrage est subordonnée à l'exiguïté de l'entrefer et à la réduction des fuites. En vitesse, la tension du réseau reparaît entre balais.

» Les ingénieurs américains assurent qu'il y a intérêt, au point de vue du facteur de puissance, à donner au moteur une polarité double

ou triple de celle qui correspondrait en vitesse normale à la marche synchrone du moteur par rapport à la fréquence du courant d'alimentation. C'est là un simple paradoxe. Dans un moteur admettant un nombre de tours par minute et un diamètre d'alésage déterminés, le nombre de pôles reste sans influence, dans de larges limites, sur le facteur de puissance. Ce dernier dépend surtout de la fréquence du courant d'alimentation. Ce que l'on peut assurer, au contraire, c'est que, au point de vue de la commutation, pour une tension déterminée appliquée aux bornes du moteur, il y a intérêt à réduire son nombre de pôles afin de disposer de plus de lames par pôle. En particulier, si le courant d'alimentation est d'assez basse fréquence (de 15 à 25 périodes), on pourra admettre la polarité qui correspond à la marche synchrone.

» Le moteur série étant ainsi présenté sous sa construction la plus avantageuse, je signalerai ses défauts essentiels :

» 1° La commutation est pénible à toute allure;

» 2° Il absorbe à tout régime un courant déwatté assez important;

» 3° La puissance correspondant au travail libéré sur l'arbre est mise en jeu dans une partie mobile possédant un collecteur et dont, par suite, l'alimentation à haute tension est impossible;

» 4° L'échauffement du stator n'est pas le même en tous ses points.

» Le deuxième inconvénient (décalage positif) peut sans doute être réduit si, conservant le même entrefer, on abaisse la fréquence du courant d'alimentation. Mais il est capital de noter :

» 1° Que l'on profitera généralement de l'abaissement de la fréquence pour augmenter l'entrefer, ce qui donnera finalement le même courant déwatté ;

» 2° Que le débit d'un même courant déwatté a plus de conséquence pour des génératrices à basse fréquence parce qu'il correspond à plus d'ampèretours antagonistes par pôle.

» L'échauffement parasite des balais, les étincelles à tout régime entraîneront d'ailleurs une détérioration rapide du collecteur.

» En réalité, ce moteur relève d'une transposition brutale du moteur série à courant continu dans le domaine du courant alternatif simple, et il ne semble pas qu'il y ait quelque résultat définitif à en attendre, malgré la compétence particulière des ingénieurs qui s'intéressent à sa mise au point.

» Le nouveau moteur que je veux vous présenter nécessite l'intelligence de deux principes se rapportant uniquement au courant alternatif simple, et que je vais d'abord vous exposer :

» *Premier principe.* — Considérons un rotor à collecteur, que nous supposerons disposé dans un stator ordinaire bipolaire, portant deux balais à 180°, *c*, *d*, en court-circuit l'un sur l'autre (fig. 4). Admettons qu'un flux alternatif tende à

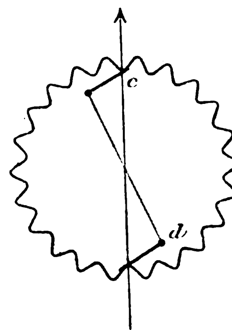


Fig. 4.

se produire dans la direction *cd*. On voit facilement que ce flux sera dans l'impossibilité d'apparaître, puisqu'il se développera aussitôt, par induction statique, un courant d'amortissement dans le rotor, grâce à la présence du court-circuit *cd*. Quoi qu'il advienne, nous ne pourrons donc avoir aucun flux suivant *cd*. *En conséquence, quelle que soit la vitesse du rotor, la commutation sera parfaite.*

» *Deuxième principe.* — Considérant le même rotor à collecteur, admettons qu'un flux alternatif tende à se produire dans une direction perpendiculaire à *cd* (fig. 5).

» Au repos, ce flux apparaîtra sans qu'aucun amortissement soit possible. Il en sera de même en vitesse. Seulement, dès que le rotor entre en mouvement, comme son bobinage se déplace par rapport à un flux perpendiculaire à la direction *cd*, une certaine force électromotrice est induite entre les balais.

» Le courant de court-circuit suivant *cd*, auquel cette force électromotrice donne lieu, ne peut être qu'un courant entièrement déphasé par rapport à elle. C'est donc un courant en quadrature avec le flux alternatif dirigé suivant la direction per-

pendiculaire à *cd*. La circulation de ce courant dans le rotor donne lieu à un flux dirigé suivant *cd*, et en quadrature, dans le temps comme dans l'espace, avec le flux admis par hypothèse suivant une direction perpendiculaire à *cd*.

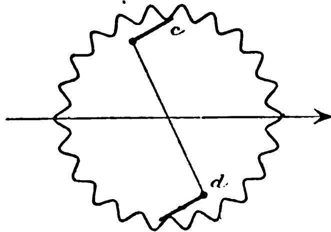


Fig. 5.

» Un calcul simple permet d'établir que ce nouveau flux alternatif, qui apparaît avec la rotation de l'induit, est égal, en valeur maxima ou efficace, au flux perpendiculaire à *cd* dès que le rotor atteint la vitesse du synchronisme et qu'il s'accroît indéfiniment au-dessus de cette vitesse. Au point de vue de la commutation sous les balais, *c*, *d*, on s'assure, sans difficulté, qu'*elle doit être parfaite dans les environs du synchronisme par suite de la formation d'un véritable champ tournant se déplaçant en synchronisme avec le rotor*.

» Ces deux principes étant exposés, considérons un rotor à collecteur alimenté, avec du

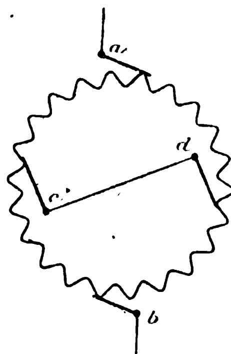


Fig. 6.

courant alternatif simple, par deux balais *a*, *b* et comportant deux balais en court-circuit *c*, *d* décalés de $\frac{\pi}{2}$ par rapport aux balais *a*, *b* (fig. 6). Le courant alternatif introduit par les balais *a*, *b* donne lieu à un champ magnétique dirigé suivant *ab*. En conséquence, la rotation de l'induit entraîne, conformément au principe 2, l'apparition d'un deuxième champ tournant suivant *cd* qui est déphasé de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au champ dirigé suivant *ab*. *Il se trouve alors que la force électromotrice induite par la self-induction de l'induit entre les balais a, b* (force électromotrice induite de façon statique par le champ dirigé suivant *ab*) *tend à être contrebalancée par la force électromotrice induite de façon dynamique entre les balais a, b par suite de la rotation de l'induit sous le champ dirigé suivant cd*. Au synchronisme, il y a équilibre parfait et la tension entre les balais *a*, *b* devient égale à la chute ohmique dans le bobinage. La commutation sous les balais *c*, *d* est parfaite dans les environs du synchronisme. Elle est parfaite à toute vitesse sous les balais *a*, *b*.

» La disparition, que je viens de signaler, de la self-induction d'un rotor à collecteur alimenté par du courant alternatif simple, grâce à la disposition additionnelle de deux balais en court-circuit, constitue un phénomène remarquable qui va nous permettre, à lui seul, de réaliser de véritables machines auto-excitatrices à courant alternatif simple.

» Disposons, en effet, le rotor à quatre balais de la figure 6 dans un stator monophasé ordinaire. Nous obtenons la disposition de la figure 7

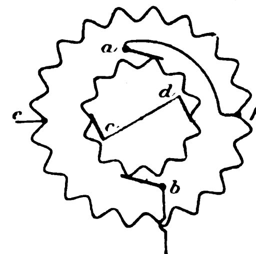


Fig. 7.

dans laquelle, pour réaliser l'excitation, on peut monter bornes et balais en série ou en parallèle, avec ou sans l'interposition d'un transformateur. La figure 7 représente le montage série.

» Un semblable moteur série se comportera, au point de vue du couple, comme le moteur série de la figure 3, avec cette seule différence que stator et rotor auront interverti leurs rôles. De ce fait, nous voyons, en vitesse, disparaître tous les défauts essentiels du moteur série ordi-

naire que nous avons signalés plus haut. Les conditions de démarrage seules restent les mêmes.

» Si, dans un moteur ainsi construit, on supprime les connexions entre le stator et le rotor, on obtient une forme intéressante du moteur à répulsion (stator bobiné comme un induit et milieu magnétique homogène), dont on pourrait faire emploi au démarrage. On substituerait ainsi un fonctionnement de moteur d'induction à collecteur à celui que l'on adopterait en régime normal de moteur de conduction sans déphasage.

» Pour affronter le démarrage, il faudra évidemment prévoir, dans le cas général, le sectionnement extrême du collecteur (une spire par section).

» L'étude du réglage de la vitesse de ces moteurs sera présentée dans une prochaine communication.

» Comme moteur d'atelier, il est bien entendu que c'est le seul couplage shunt qui est intéressant.

» En génératrice, on effectue le compoundage en annihilant la réaction d'induit en grandeur, en direction et en forme, avec un transformateur compensateur, comme dans mes alternateurs à courants polyphasés.

» Génératrices compound auto-excitatrices à l'usine et moteurs série sur la voie, c'est là, en réalité, un ensemble complet pour un système de traction monophasé.

» Un premier moteur de 15 chevaux a été construit aux Établissements Postel-Vinay. M. Gratzmuller, ingénieur de cette Société, a bien voulu, sur ma demande, se charger de vous exposer les résultats des premiers essais effectués sur ce moteur. Je vous prie, Messieurs, de ne pas oublier qu'il s'agit d'un premier moteur de fortune constitué avec du matériel ordinaire. J'espère pouvoir vous soumettre prochainement des résultats sur des moteurs plus intéressants, étudiés et construits en vue d'applications déterminées très importantes, notamment pour la traction électrique. »

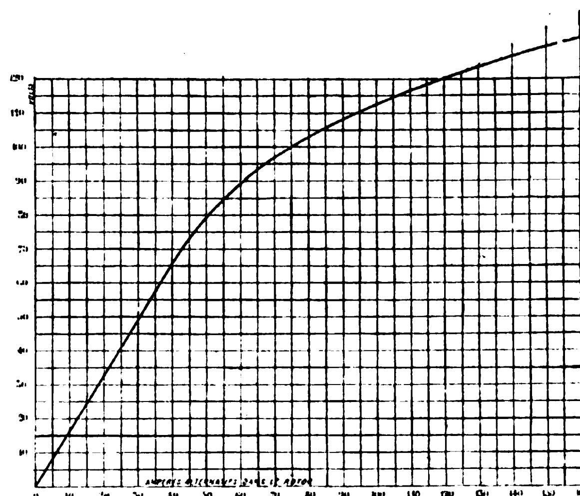
M. Gratzmuller expose comme il suit les ***Résultats d'essais d'un moteur Latour :***

« Dans l'esprit des brevets de M. Latour, j'ai calculé et fait construire aux ateliers de la Société Postel-Vinay une machine d'essais de 15 chevaux environ. Pour hâter la construction, j'ai utilisé un induit à courant continu d'un des types de machine à courant continu existant. Un stator spécial a été construit, mais des paliers de série ont été utilisés, ce qui donne à la machine un aspect un peu singulier, mais ne présente aucun inconvénient quant au fonctionnement.

» La machine est bipolaire, les expériences ont été faites à la fréquence 25. Il est utile de noter que, du premier coup, la machine construite a donné des résultats très satisfaisants sans recourir à aucun artifice de commutation ; il faut voir là une preuve de la facilité de construction de ces machines, ce qui ajoute à leurs qualités.

» Je tiens à faire remarquer que je n'apporte aucun fait nouveau et que les résultats ci-dessous viennent simplement montrer l'accord de la pratique avec la théorie.

» *Faits d'expérience.* — Un courant constant entrant et sortant par deux balais diamétraux, les deux autres balais court-circuités et le circuit du stator étant ouvert; si la direction du court-circuit coïncide avec la direction des pôles du stator, on constate que :



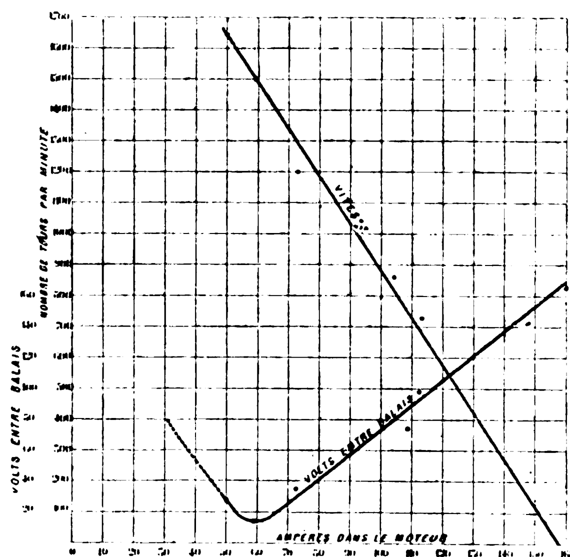
Courbe I.

» 1° A l'arrêt il n'y a pas de force électromotrice développée aux bornes du stator.

» La self-induction du rotor est totale et la même que s'il n'y avait pas de balais court-circuités. Les balais a, b ne présentent pas l'échauffement anormal, mais il y a des courants de court-circuit sous les balais c, d;

» 2° Lorsque le rotor tourne, la commutation reste parfaite sous les balais *a*, *b* ; il y a au contraire tendance à étincelles sous les balais *c*, *d*, mais la commutation s'améliore avec l'augmentation de vitesse et elle est aussi bonne que dans une bonne dynamo, au voisinage du synchronisme.

» La tension diminue progressivement entre les balais *a*, *b* lorsque la vitesse croît ; elle est minima à la vitesse de synchronisme et croît au-dessus. La tension monte au contraire aux bornes du stator.



Courbe II.

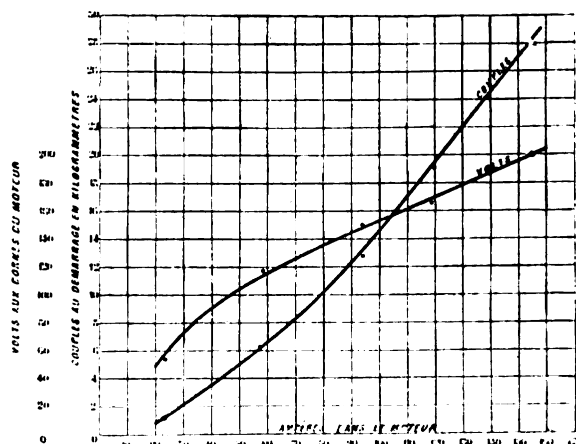
» Nous avons dit que sous les balais *c*, *d* il y avait, au commencement de la rotation, tendance à étincelles. Il faut entendre par là que la commutation est de l'ordre de celle d'un moteur série ordinaire à courant alternatif, mais ces conditions vont s'améliorant de plus en plus et très rapidement avec la vitesse, pour devenir parfaites au synchronisme.

» Ceci n'est pas une objection à l'emploi du moteur de M. Latour, étant données l'intensité et la durée limitées des étincelles. J'ai fait des essais en shunt et en série.

» Nous donnons quelques courbes représentant des résultats d'expériences.

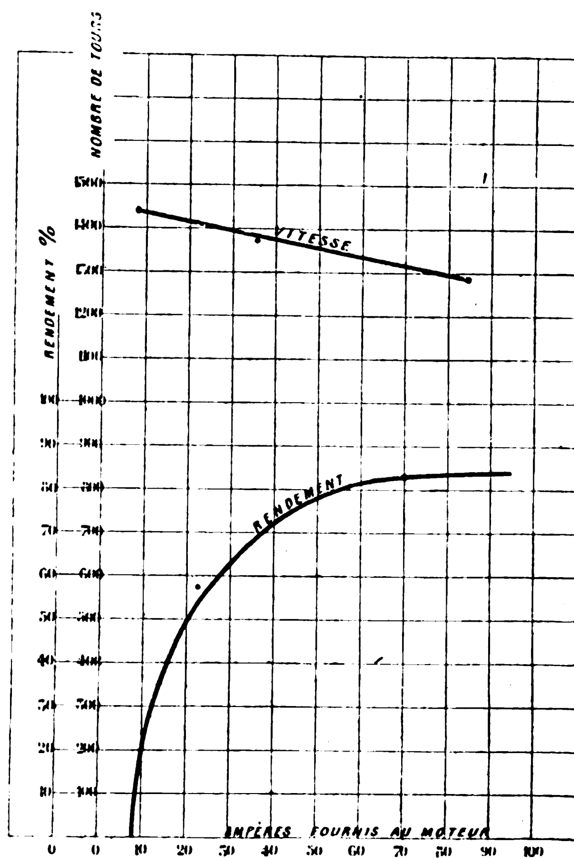
» La courbe I donne en quelque sorte la caractéristique du circuit magnétique de la machine.

» Les courbes II donnent les conditions de fonctionnement en moteur série sous 200 volts. Elles montrent comment varient la vitesse et la tension entre balais non court-circuités du rotor.



Courbe III.

» Les courbes III donnent les couples de démarrage en fonction de la tension aux bornes



Courbe IV.

du moteur. On voit que le couple de démarrage atteint plus de 4 fois et demi le couple normal.

» Les courbes IV donnent les glissements et rendements en moteur shunt. Le moteur shunt est pratiquement à vitesse constante comme le moteur shunt à courant continu. Le rendement maximum 83 p. 100 atteint n'est pas très élevé, mais il faut se rendre compte que c'est la première machine réalisée.

» Enfin, pour rendre manifeste la faculté du moteur de fonctionner à $\cos \varphi = 1$, nous avons tracé à l'ondographe la courbe de différence de

DIRECTION SC

ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Meml
haussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées
nstitut. — D. MONNIER, Professeur à l'École centrale
la Sorbonne, Membre de l'Institut. — A. POTIER. I

Courbe V.

potentiel. Les courbes V et VI ont été relevées à vide, puis en charge, après avoir fait le réglage

IR LA MARCHE EN TAMPON DES
AUX BORNES DES

Le courant débité par une usine ou une
ès rapidement variable, ce qui cause des

Courbe VI.

pour la marche à vide aux bornes du moteur shunt et celle de l'intensité. D'ailleurs on peut amener la courbe d'intensité à occuper telle position que l'on veut par rapport à celle de différence de potentiel.

» M. Rey m'a aidé dans la plupart des expériences. »

L'ordre du jour appelle ensuite une communication de **M. de Kowalski**, professeur à l'Université de Fribourg, sur la ***Production de l'acide nitrique par les décharges électriques*** (1).

(1) Nous reviendrons prochainement sur cette communication, l'auteur devant nous fournir quelques renseignements complémentaires sur ce sujet.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 27 mars 1903.

Combustion des supports d'isolateurs en bois sur les lignes à hautes tensions, par **C.-C. Chesney**. *Transactions of Am. Int. of El. Eng.*, t. XX, p. 435-443, avril 1903.

Dans cette communication, l'auteur rapporte de nombreux exemples de destruction des supports d'isolateurs en bois pour conclure à l'emploi exclusif des supports en fer. En Amérique, on a employé longtemps les supports en caroubier, chêne ou eucalyptus, dans la pensée d'y trouver un complément d'isolation de la ligne ; et pour leur conservation, on les imprégnait d'asphalte, de paraffine ou d'huile de lin cuite. Pour des tensions s'élevant à 25 000 ou 30 000 volts, ces supports munis d'isolateurs en verre ou en porcelaine vitrifiée ont généralement donné de bons résultats, grâce à la bonne qualité des isolateurs. Pour des tensions de 40 000 volts et au delà, les isolateurs fournis par les constructeurs ne présentent pas, selon l'auteur, le même facteur de sécurité que pour les tensions plus faibles ; et cela tient moins à la qualité et à l'épaisseur de l'isolateur qu'à l'insuffisance de la longueur offerte aux fuites de courant, le long des cloches.

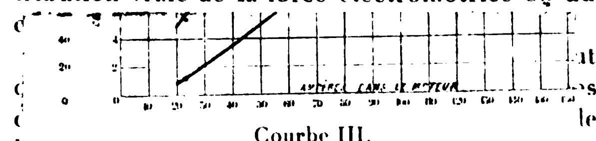
Dans les localités exposées aux tempêtes et aux brouillards de la mer ou situées dans le voisinage d'usines chimiques, les supports d'isolateurs se trouvent brûlés sans que la forme de ces derniers ni la tension du système ne soit la cause de ces accidents. Dans de telles conditions les supports d'isolateurs se comportent mieux pendant la saison des pluies. L'auteur présente 3 supports d'isolateurs, les deux premiers du type Locke, le troisième du système Redlands, pris sur des lignes de 45 000, 50 000 et 33 000 volts respectivement. Les deux premiers supports sont en bois d'eucalyptus imprégnés d'huile de lin, le troisième est en fer avec une douille en porcelaine à la base et une douille filetée en chêne à la partie supérieure. L'auteur donne une coupe ainsi que les dimensions de ces divers supports. Le fait caractéristique dans la destruction de ces supports réside en ce que tous les supports avariés sont brûlés dans la partie filetée en bois. Dans les supports entièrement en bois la car-

bonisation s'étend à environ 0,04 cm au-dessous de la partie filetée. L'auteur attribue ce fait à ce que la partie supérieure du support est celle qui offre la plus grande résistance aux courants de fuite tandis que la partie inférieure est rendue plus ou moins conductrice par les dépôts de poussière et d'humidité.

L'auteur signale un autre effet des très hautes tensions sur les supports en bois dans lequel les fibres perdent leur consistance et le bois est réduit en poussière comme s'il pourrissait; cet effet n'est pas nécessairement accompagné d'une carbonisation; le bois y acquiert une saveur acide et tombe en poussière sous le frottement des doigts. P.-L.-C.

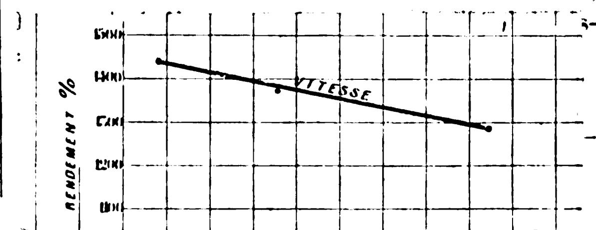
Représentation mécanique de la distribution de la force électromotrice et du courant le long d'une ligne monophasée, par **W.-S. Franklin**. *Transactions of Am. Inst. of El. Eng.* t. XX, p. 443-445, avril 1903.

Ce procédé constitue le sujet d'une thèse de fin d'études à l'Université Lehigh, en 1901; il consiste à tracer sur un cylindre transparent et tournant autour de son axe des lignes hélicoïdales tracées par l'extrémité du vecteur représentant une grandeur électrique. Un observateur fixe placé à l'extérieur du cylindre verra une ligne ondulée paraissant se déplacer le long de l'axe du cylindre, et le sens du mouvement dépendra de l'inclinaison à droite ou à gauche de la tangente à l'hélice sur l'axe du cylindre. Si la courbe tracée sur le cylindre est une hélice véritable, elle représentera les ondes de force électromotrice ou de courant le long d'une ligne possédant de l'inductance et de la capacité, mais dépourvue de résistance et de pertes par défaut d'isolement. L'hélice inclinée en sens contraire sur l'axe figurera les ondes réfléchies par le récepteur. Une hélice décrite par l'extrémité d'un vecteur égal à la somme géométrique des vecteurs qui tracent les deux hélices précédentes, représentera, quand on la fera tourner, la distribution vraie de la force électromotrice ou du



Courbe III.

» Les courbes III donnent les couples [illegible] des valeurs proportionnelles [illegible], [illegible] étant la distance du point considéré à l'origine, mesurée sur l'axe du cylindre. L'hélicoïde résultante de deux hélicoïdes semblables inclinées en sens opposés sur l'axe, représentera la distribution de la force électromotrice ou du courant,



Tome XXXVI Samedi 29 Août 1903. 10e Année. — N° 35

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

NOTE

SUR LA MARCHE EN TAMPON DES BATTERIES D'ACCUMULATEURS

AUX BORNES DES COMMUTATRICES

Le courant débité par une usine ou une sous-station de tramways est excessivement et très rapidement variable, ce qui cause des ennuis bien connus, particulièrement une augmentation du nombre des machines en marche. L'emploi d'une batterie-tampon permet de régulariser le courant fourni par les machines génératrices. Les batteries-tampons donnent d'excellents résultats lorsque la machine génératrice est une dynamo (avec excitation en dérivation seule) ; l'effet de tampon ne se produit pas lorsque la génératrice est une commutatrice, cas aujourd'hui très fréquent dans les grands réseaux. Cela tient à ce qu'une commutatrice fonctionnant avec son excitation normale sur un réseau dépourvu de self-induction est une machine sans réaction d'induit, c'est-à-dire une machine pour laquelle la tension aux bornes ne varie pas en fonction de la charge.

L'emploi de survolteurs convenablement excités permet de résoudre le problème. Je me propose d'exposer le résultat des essais qui ont été faits aux tramways de Marseille et qui montrent que le problème est actuellement résolu.

Nous avions essayé précédemment de réaliser la marche en tampon au moyen d'un survolteur automatique Pirani muni de deux excitations différentielles [1]. Ce montage est représenté sur la figure 1. La batterie d'accumulateurs est mise en série avec l'induit d'un survolteur.

[1] Ce survolteur avait donné, il y a cinq ans, de bons résultats avec l'ancienne installation qui possédait des génératrices à courant continu.

Ce survolteur possède deux excitations ; l'une e en fil fin est mise en dérivation sur les bornes de la batterie, l'autre E en gros fil est traversée par le courant total de la sous-station. Ces deux excitations sont contradictoires ; les inducteurs e créent dans le survolteur une force électromotrice qui tend à faire charger la batterie (pôle + en A et pôle — en B), au contraire les inducteurs E donnent au survolteur une force électromotrice inverse qui tend à faire décharger la batterie. Examinons ce qui se passe avec une dynamo à courant continu. On règle, au moyen d'un rhéostat de champ l'excitation e de telle sorte que pour le débit moyen réclamé par le réseau la batterie ne soit parcourue par aucun courant. Si le débit extérieur I_e augmente, c'est l'excitation E qui prédomine, la batterie se décharge et la génératrice se trouve soulagée. L'on conçoit que si les enroulements E et e sont convenablement calculés, on puisse avoir un courant constant débité par la dynamo malgré les variations du courant total. Il suffit pour cela d'arriver à ce résultat que la tension de la batterie

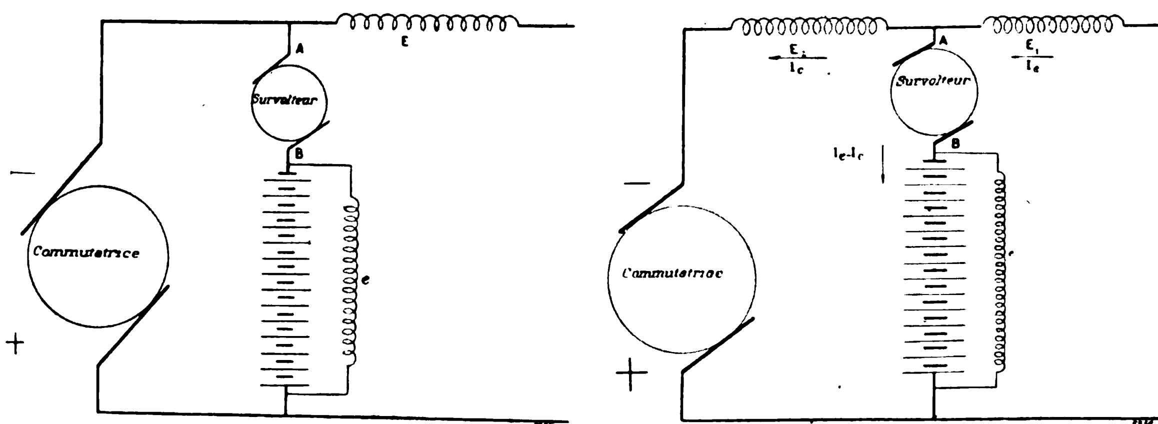


Fig. 1 et 2.

augmentée de celle du survolteur soit constante ; alors la dynamo travaillera à tension constante et par suite, si sa vitesse est invariable, à courant constant. L'enroulement E doit être tel que, pour un certain courant I_e qui traverse cet enroulement, la force électromotrice qu'il produit soit égale à la chute de tension qui serait produite par le même courant I_e traversant la batterie ; en d'autres termes, cet enroulement doit compenser la résistance de la batterie. D'autre part, le régime est stable, car si le débit de la génératrice descendait en dessous de la valeur normale, le voltage à ses bornes augmenterait de manière à rétablir l'équilibre.

Examinons maintenant le cas d'une commutatrice. Les mêmes considérations s'appliquent mais le régime est instable. Le courant débité par la commutatrice est, il est vrai, indépendant du courant total si le réglage de e est parfait ; mais les moindres variations de régime indépendantes du courant total font passer tout le débit de la commutatrice à la batterie ou réciproquement. En effet, supposons le courant absorbé par le réseau constant, et examinons le circuit commutatrice-accumulateur-survolteur ; ce circuit a peu de résistance totale, pas de réaction d'induit, il suffit donc d'une force électromotrice très faible pour y faire naître des courants très intenses. C'est pour cette raison que nos premiers essais de marche en tampon n'ont pas réussi.

Pour obvier à l'inconvénient que nous venons de signaler, Entz dans son brevet du 16 mai 1899 a indiqué le montage représenté sur la figure 2. Ce montage a paru dans l'*Éclairage Électrique* du 6 décembre 1902.

L'excitation du survolteur est donnée par trois groupes d'inducteurs : le premier groupe comprend les bobines en fil fin e placées aux bornes de la batterie, le second groupe comprend les bobines à gros fil E_1 traversées par le courant total absorbé par le réseau, le troisième groupe comprend les bobines à gros fil E_2 traversées par le courant de la commutatrice. L'enroulement e tend à faire charger la batterie (pôle + en A et — en B), au contraire les deux enroulements E_1 et E_2 tendent à faire décharger la batterie (pôle — en A et + en B). Ce montage ne diffère du précédent que par l'enroulement E_2. Or, on a vu que e et E_1 peuvent être choisis de manière que le courant débité par la commutatrice soit indépendant du courant total ; l'enroulement E_2 ne change rien à ce résultat, mais il donne de la stabilité. Reprenons les notations de l'*Éclairage Électrique* (6 décembre 1902).

Soit E la tension aux bornes de la commutatrice, tension qui est pratiquement constante.

I_c le courant débité par la commutatrice ;
I_e le courant réclamé par le réseau ;
$I_e - I_c$ le courant débité par la batterie d'accumulateurs ;
E_a la tension de la batterie à vide ;
R la résistance intérieure de la batterie ;
V la tension donnée au survolteur par l'enroulement shunt e ;
T_1 le nombre de tours de l'enroulement E_1 ;
T_2 le nombre de tours de l'enroulement E_2 ;
K la tension donnée au survolteur par un ampère-tour.

La tension donnée au survoltenr par les enroulements E_1 et E_2 sera respectivement KT_1I_e et KT_2I_c.

En écrivant que la tension aux bornes du groupe batterie-survolteur est égale à la tension aux bornes de la commutatrice, on a l'équation :

$$E = E_a - R(I_e - I_c) + KT_1I_e + KT_2I_c - V.$$

D'où l'on tire :

$$I_c = \frac{E + V - E_a + I_e(R - KT_1)}{R + KT_2} \qquad (1)$$

Pour que I_c soit indépendant de I_e, il faut et il suffit qu'on ait $R - KT_1 = 0$ d'où $R = KT_1$.

Ce résultat est indépendant du nombre de tours de l'enroulement E_2 qui ne sert qu'à maintenir l'équilibre.

Introduisons dans l'équation (1) la condition $R - KT_1 = 0$, l'expression de I_c devient :

$$I_c = \frac{E + V - E_a}{R + KT_2}. \qquad (2)$$

Avec le premier montage on a $T_2 = 0$, d'où

$$I_c = \frac{E + V - E_a}{R} \qquad (3)$$

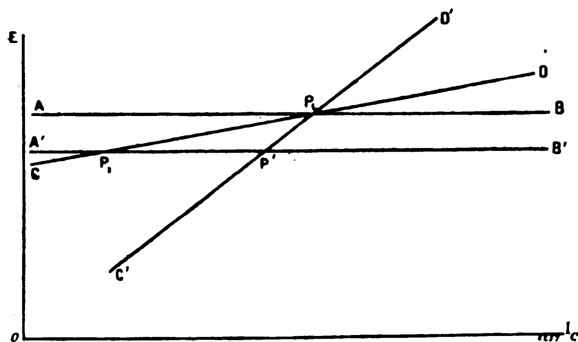


Fig. 3.

Mais E est très voisin de $E_a - V$, R est très petit, de sorte que I_c est le quotient de deux quantités très petites et les moindres variations de E font varier I_c d'une manière considérable. Au contraire, avec le terme relatif à l'enroulement E_2 l'équation (2) montre que la valeur de I_c est bien déterminée.

On peut facilement se rendre compte par un graphique de l'effet de l'enroulement série-commutatrice [1]. En effet, plaçons-nous dans le cas où le débit absorbé par le réseau reste constant et traçons un diagramme en portant comme abcisses le débit de la

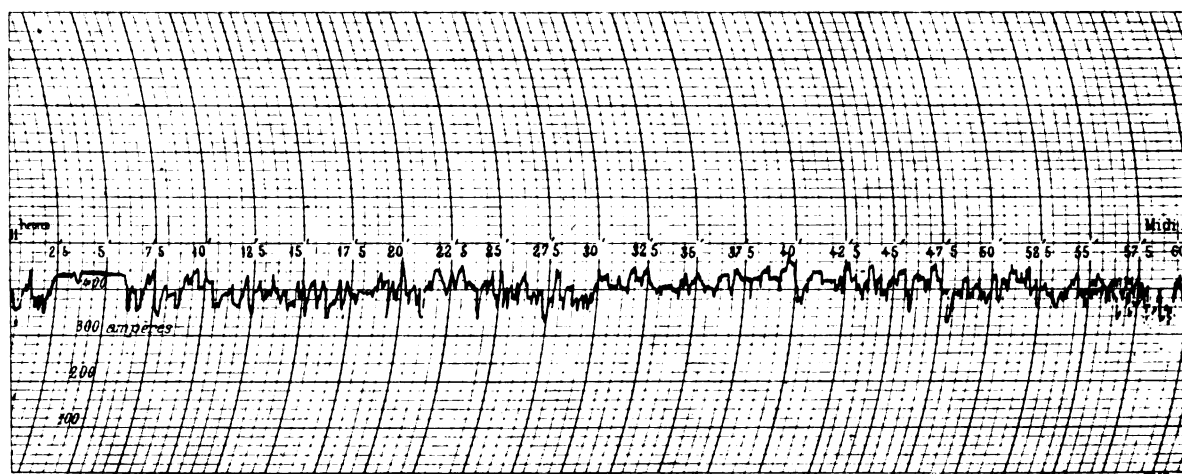


Diagramme I. — Débit total du réseau entre 11 heures et midi.

commutatrice et comme ordonnées le voltage aux bornes de la commutatrice et du groupe battorie-survolteur.

La caractéristique de la commutatrice est représentée par la ligne AB (fig. 3), qui est presque horizontale. Si nous supposons l'enroulement E_2 supprimé, le voltage aux bornes du

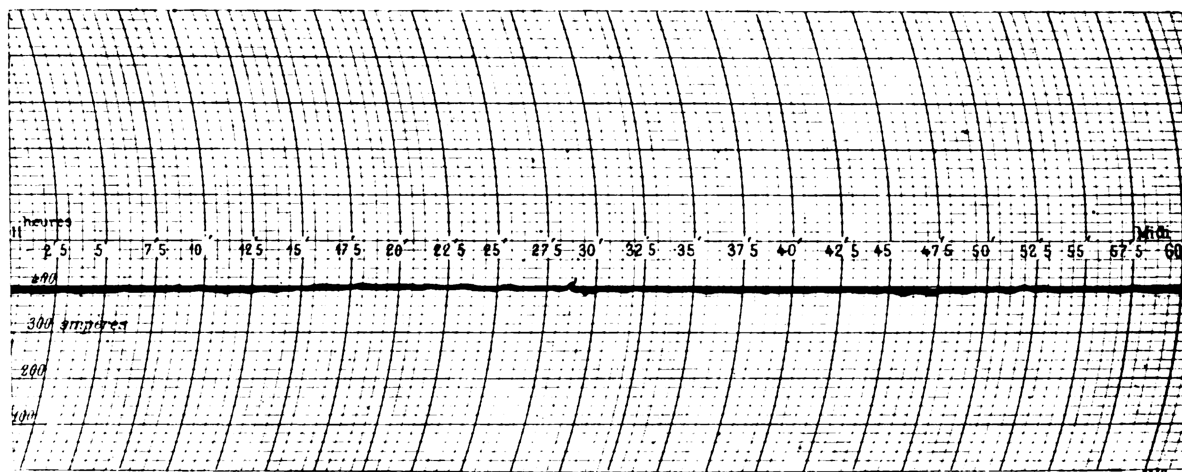


Diagramme II. — Débit de la commutatrice entre 11 heures et midi.

groupe batterie-survolteur sera représenté par la ligne CD légèrement ascendante ; car I_t étant constant, si I_c diminue le courant dans les accumulateurs augmente et la tension baisse un peu à cause de la résistance de la batterie, mais comme celle-ci est très faible la ligne CD

(1) Cette construction graphique nous a été indiquée par M. Fabry, professeur à la Faculté des sciences de Marseille.

est très peu inclinée sur l'horizontale. Le point figuratif de la marche se trouve en P_1 à la rencontre des deux lignes. Si pour une cause quelconque, par exemple par suite d'une variation de la charge, de la vitesse ou de l'excitation des alternateurs de l'usine, la ligne AB

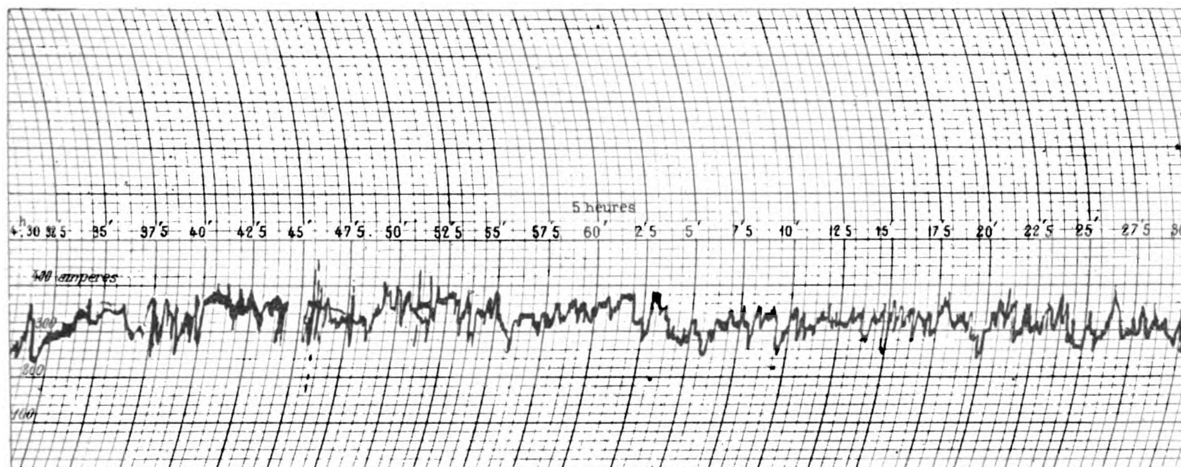


Diagramme III. — Débit total du réseau entre 4 heures et demie et 5 heures et demie.

se déplace d'une petite quantité AA', le joint P_1 vient en P_2 et la répartition de la charge entre la batterie et la commutatrice est complètement modifiée. Pour donner de la stabilité il faut relever la caractéristique CD en C'D' ; on y arriverait en intercalant une résistance sur la batterie, ce qui serait mauvais au point de vue du rendement. L'enroulement E_2 rem-

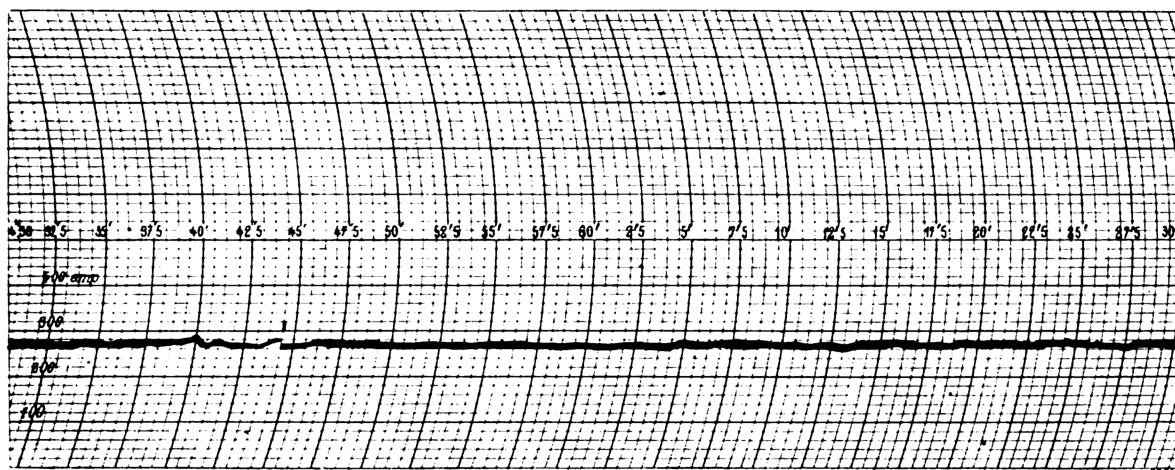


Diagramme IV. — Débit de la commutatrice entre 4 heures et demie et 5 heures et demie.

plit le même but sans absorber d'énergie. En résumé, l'enroulement E_1 réglé une fois pour toutes ainsi que l'enroulement E_2 qui est d'ailleurs quelconque, on règle au moyen de *e* la charge moyenne de la batterie.

Les diagrammes que nous avons relevés avec des ampèremètres enregistreurs sont tout à fait concluants. Ainsi, le diagramme 1 représente le débit absorbé par le réseau pendant une heure et le diagramme 2 représente le débit de la commutatrice pendant ce même

temps. De même le diagramme 3 représente le débit du réseau pendant une autre heure et le diagramme 4 relevé simultanément représente le débit correspondant de la commutatrice.

J. PAGLIANO,
Ingénieur Civil des Mines,
Ingénieur des Services Electriques
à la Compagnie Générale Française des Tramways
Réseau de Marseille.

THÉORIE DES OSCILLOGRAPHES

II. — OSCILLOGRAPHE BIFILAIRE (1).

Période propre des vibrations tournantes d'un prisme ou système de prismes. — Considérons d'abord un système primastique quelconque soumis à une torsion, en supposant la tension parallèle aux fibres négligeable à côté de la torsion, l'équation des vibrations tournantes est facile à établir, d'après la méthode de Saint-Venant. La figure 1 s'applique à un seul prisme et la figure 2 à 2 prisme conjugués. Les raisonnements qui suivent sont applicables à l'une et à l'autre figure.

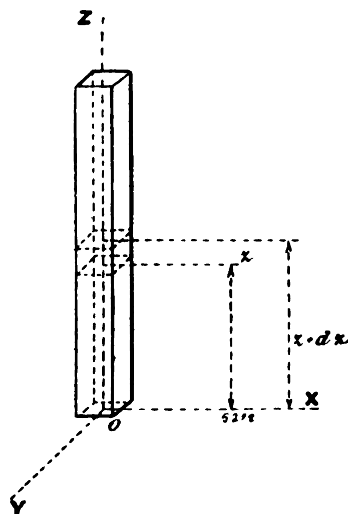


Fig. 1.

Soit z la distance d'une tranche horizontale à l'origine, c'est-à-dire au point d'encastrement du prisme, ψ l'angle de torsion de cette tranche, G le coefficient d'élasticité de glissement (égal à $\frac{2}{5}$ E d'après Navier, E étant le coefficient d'élasticité de traction,) J_1 un coefficient dépendant de la forme de la section et calculé par Saint-Venant (2), J le moment d'inertie polaire de la section, ρ la densité de la matière, ϖ le poids spécifique et g l'accélération de la pesanteur.

La tranche d'épaisseur dz est soumise sur ses deux faces à deux couples différents proportionnels aux accroissements des angles de torsion par unité de longueur :

$$-GJ_1 \frac{d\psi}{dz}$$

et

$$GJ_1 \left(\frac{d\psi}{dz} + d\,\frac{d\psi}{dz}\right)$$

dont la somme doit faire équilibre au moment des forces d'inertie appliquées à la tranche considérée

$$-\frac{\varpi}{g}\, dz J \frac{d^2\psi}{dt^2}.$$

D'où l'équation

$$-\frac{\varpi}{g}\, dz J \frac{d^2\psi}{dt^2} + GJ_1 d\left(\frac{d\psi}{dz}\right) = 0$$

(1) Voir pour la première partie, *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIII, p. 115-125, 28 octobre 1902.

(2) Résistance des matériaux de Navier. Note du n° 156, pages 239 et suivantes.

ou

$$\alpha^2 \frac{d^2\psi}{dz^2} = \frac{d^2\psi}{dt^2}$$

en posant

$$\alpha^2 = \frac{G}{\rho} \frac{J_1}{J} = \frac{g}{\varpi} \frac{GJ_1}{J}.$$

La solution générale de cette équation différentielle bien connue est, comme on le sait, en appelant f et φ deux fonctions arbitraires.

$$\psi = f(z + \alpha t) + \varphi(z - \alpha t).$$

Dans le cas d'un prisme encastré aux deux bouts et ne portant aucun poids supplémentaire, les conditions aux limites sont que $\psi = 0$ pour $z = 0$ et $z = l$. Elles sont satisfaites par une série de Fourier de la forme

$$\psi = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(A \sin \frac{n\pi\alpha}{l} t + B \cos \frac{n\pi\alpha}{l} t \right) \sin \frac{n\pi z}{l}.$$

A et B étant deux constantes à déterminer

La vibration principale correspond au premier terme de cette série

$$\psi = A \sin \frac{\pi\alpha}{l} t \sin \frac{\pi z}{l}.$$

La durée d'oscillation propre fondamentale complète est donc

$$\frac{2l}{\alpha} = 2l \sqrt{\frac{\varpi}{Gg} \frac{J}{J_1}}.$$

Telle est la formule de Saint-Venant, qui n'a pas poussé plus loin l'étude des vibrations tournantes.

Il convient naturellement de réduire autant que possible le rapport de l'inertie du miroir a celle du bifilaire, pour que l' se rapproche autant que possible de l.

Dans ce qui suit, pour comparer les diverses solutions nous supposerons $l' = l$, c'est-à-dire que nous négligerons le miroir.

Cas d'une bande rectangulaire. Expressions de J_1 J *et* G. — On sait que, d'après la théorie de l'élasticité, l'élasticité de glissement est les 2/5 de l'élasticité de tension

$$G = 2/5 E.$$

Nous en donnerons plus loin les valeurs numériques exactes.

Pour une bande rectangulaire de largeur b et d'épaisseur c l'expression du moment d'inertie polaire J de la section est, commme on le sait.

$$J = bc \frac{b^2 + c^2}{12}.$$

Enfin l'expression du coefficient J_1 de Saint-Venant est, d'après cet auteur [1], donné par une formule

$$J_1 = \frac{\mu'}{3} \frac{b^3 c^3}{b^2 + c^2}.$$

[1] *Loc. cit.*, p. 360.

dans laquelle μ' est un coefficient, dont les valeurs qu'il a calculées, sont résumées dans le tableau ci-dessous :

μ'	pour $\frac{b}{c}$
$\mu' = 0,8435$	pour $\frac{b}{c} = 1$
0,8576	2
0,8678	2,5
0,8777	3
0,8869	3,5
0,8951	4
0,9090	5
0,9463	10
0,9709	20
1,000	∞

D'où en substituant dans la valeur de N ci-dessus, l'expression

$$\frac{J_1}{J} = 4\mu' \frac{b^2 c^2}{(b^2+c^2)^2},$$

on obtient le nombre N de vibrations sous la forme pratique.

$$N = \frac{1}{2l} \frac{2bc\sqrt{Eg}}{b^2+c^2} \sqrt{\frac{2}{5\varpi}\mu'} .$$

On remarquera que si les sections restent semblables, c'est-à-dire si $\frac{b}{c}$ reste constant, il en est de même de μ' et le seul élément géométrique qui influe sur le nombre de périodes est la longueur l.

Effets de l'inertie d'une masse fixée au milieu du système tordu. — Si l'on veut tenir compte de l'inertie du miroir, on peut supposer pour simplifier, celle-ci appliquée au point milieu du bifilaire $l/2$, et traiter celui-ci comme formé de deux moitiés symétriques par rapport à ce milieu. Les conditions aux limites sont alors

Pour $z = 0$, $\psi = 0$

Pour $z = \frac{l}{2}$, le couple de torsion dans la section fait équilibre à la moitié du moment d'inertie I du miroir ; donc

$$-GJ_1 \left(\frac{d\psi}{dz}\right)_{z=\frac{l}{2}} - \frac{I}{2}\left(\frac{d^2\psi}{dt^2}\right)_{z=\frac{l}{2}} = 0.$$

On peut satisfaire à ces conditions en posant entre $z = 0$ et $z = \frac{l}{2}$

$$\psi = A \sin \frac{\pi\alpha}{l'} t \sin \frac{\pi z}{l'}$$

l' étant une longueur fictive à déterminer par l'équation précédente qui donne, quand y porte cette expression, la condition

$$-GJ_1 \frac{\pi}{l'} \cos\left(\frac{\pi}{l'}\frac{l}{2}\right) + \frac{I}{2}\left(\frac{\pi\alpha}{l'}\right)^2 \sin\left(\frac{\pi}{l'}\frac{l}{2}\right) = 0.$$

D'où

$$\operatorname{tg} \frac{\pi l}{2l'} = \frac{2GJ_1\pi}{l'I}\left(\frac{l'}{\pi\alpha}\right)^2 = \frac{2l'GJ_1}{\pi\alpha^2} = \frac{l'}{\pi}\frac{\varpi}{g}\frac{2J}{I}.$$

Cette équation transcendante [1] détermine l' et par suite la nouvelle durée de l'oscillation propre est

$$2l'\sqrt{\frac{\varpi}{Gg}\frac{J}{J_1}}.$$

Le nombre des vibrations a donc pour expression

$$N_0 = \frac{1}{2l'}\sqrt{\frac{Gg}{\varpi}\frac{J_1}{J}}.$$

Un exemple numérique sera donné plus loin pour montrer l'emploi de cette formule et l'ordre de grandeur pratique des rapports $\frac{l'}{l}$ et $\frac{N_0}{N}$.

Avantage des vibrations tournantes sur les vibrations transversales, au point de vue du nombre des oscillations. — On sait que le nombre des vibrations transversales des cordes est donné par la formule

$$N' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{\varpi}\frac{T}{\sigma}}.$$

en appelant T la tension du brin vibrant et σ la section.

On a donc, quand $l' = l$

$$\frac{N}{N'} = \frac{2bc}{b^2+c^2}\sqrt{\frac{2}{5}}\mu'\sqrt{\frac{E}{\left(\frac{T}{\sigma}\right)}}.$$

Le coefficient d'élasticité étant toujours très grand vis-à-vis de la tension par unité de surface $\frac{T}{\sigma}$ admissible sans atteindre les limites d'élasticité, on a pour N des chiffres beaucoup plus élevés que pour N'. Par exemple pour une bande 1/10 de millimètre d'épaisseur et 8/10 de largeur, en aluminium (E = 6 750 kg par millimètre carré) la tension $\frac{T}{\sigma}$ ne saurait guère dépasser 10 kg par millimètre carré. D'autre part $\frac{b}{c} = 8$ donne $\mu' = 0,94$, d'où $\sqrt{\frac{2}{5}}\mu' = 0,65$. D'où le rapport

$$\frac{N}{N'} = \frac{1}{4} \times 0,65 \times \sqrt{675} = 4,2 \text{ environ.}$$

On voit qu'un même bifilaire plat donne en vibrations tournantes sans tension 4 fois plus de vibrations qu'en vibrations transversales (en négligeant l'influence de l'inertie du miroir, qui malheureusement réduit beaucoup cet avantage).

On peut donc obtenir, sous même longueur, des vibrations plus rapides avec des vibrations tournantes qu'avec des vibrations transversales ; c'est un grand avantage parce que cela permet de réduire les tendeurs, et d'employer l'aluminium qui présente peu de résistance à la traction. Enfin, plus le bifilaire est long, plus est petite l'influence relative de l'inertie propre du miroir.

---

[1] Si on appelle I' l'inertie polaire qu'aurait le bifilaire entier supposé libre d'osciller autour de l'axe vertical sans torsion

$$I' = \frac{\varpi}{g} lJ ;$$

ceci peut aussi s'écrire

$$\text{tg}\,\frac{\pi l}{2l'} = \frac{2l'}{\pi l}\frac{I'}{I},$$

ou en posant $x = \frac{l'}{l}$,

$$\text{tg}\,\frac{\pi}{2x} = \frac{2x}{\pi}\frac{I'}{I}$$

...

Sensibilité du bifilaire. — La sensibilité est le rapport de la déviation ψ au courant i ; on l'obtient en calculant à l'état statique la déviation maxima ψ au centre du bifilaire en fonction du couple déviant en chaque point (fonction de z) :

$$M = \mathcal{H}ia.$$

L'égalité entre le couple de torsion et le couple extérieur

$$-\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\frac{d^2\psi}{dz^2} = M = \mathcal{H}ia$$

donne, en intégrant la déviation ψ, d'une attache jusqu'au milieu du bifilaire,

$$\psi = \frac{i}{GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}}\int_0^{\frac{l}{2}} dz \int_0^z \mathcal{H}a\,dz.$$

D'où par exemple, si $\mathcal{H}$ est constant,

$$\frac{\psi}{i} = \frac{l^2}{8}\frac{\mathcal{H}a}{GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}}.$$

Ce qui s'exprime aussi en fonction de la période Θ_0, définie plus haut par

$$\frac{\psi}{i} = \frac{\mathcal{H}a\Theta_0^2}{32\,J\rho}.$$

Si $\mathcal{H}$ varie suivant la loi sinusoïdale $\mathcal{H}\sin\frac{\pi}{l}z$, l'intégration, ou plus simplement l'expression de B_{mn}, indiquée plus loin, donne immédiatement pour $m = n = 1$, en faisant $A = 0$, $K = 0$, la valeur peu différente

$$\frac{\psi}{i} = \frac{\mathcal{H}a}{C_1} = \frac{\mathcal{H}a\Theta_0^2}{4\pi^2 J\rho}.$$

On voit que :

1° La sensibilité varie, pour une même section de bifilaire, comme le carré de la fréquence propre.

2° A égal nombre de vibrations propres réalisé, la sensibilité est indépendante de la longueur l et de J_1 ; le bifilaire le plus sensible est celui qui a la plus faible densité et le plus faible moment d'inertie.

La sensibilité peut encore être envisagée à un autre point de vue, si le courant i dont on dispose n'est pas limité ; c'est le cas par exemple pour les oscillographes ampèremètres, montés en dérivation sur une résistance parcourue par le gros du courant ; rien n'empêche, au point de vue électrique, de forcer ici cette dérivation i jusqu'à des valeurs capables de fondre le bifilaire. La sensibilité est alors définie par le rapport de la déviation maxima à l'échauffement.

Soit Δ la densité de courant, ν la résistance spécifique, σ la section de chaque fil, p le périmètre de cette section.

On peut écrire

$$\psi = \frac{\mathcal{H}\Delta\sigma}{32\,J\rho}a\Theta_0^2.$$

On peut admettre que l'échauffement est proportionnel à $\Delta\sqrt{\nu}\,\frac{\sigma}{p}$. La sensibilité, à égal échauffement, est donc proportionnelle à

$$\frac{\mathcal{H}\Theta_0^2\,ap}{32\,J\rho\sqrt{\nu}}.$$

Elle est maxima quand on emploie le métal ayant le plus petit produit $\rho\sqrt{\nu}$ ou $\varpi\sqrt{\nu}$ sous forme de bande très plate.

Comparaison des divers métaux pour la constitution des bifilaires. — On voit, d'après tout ce qui précède, que le poids spécifique intervient dans le nombre possible des vibrations et dans la sensibilité possible. Le premier est proportionnel à

$$\sqrt{\frac{1}{\varpi}\left(\frac{T}{\sigma}\right)} \text{ ou } \sqrt{\frac{E}{\varpi}},$$

la seconde à

$$\frac{1}{\varpi} \text{ ou } \frac{1}{\varpi\sqrt{\nu}}.$$

en appelant ν la résistivité électrique

Il est donc intéressant de voir comment varient ces facteurs pour les divers métaux. C'est ce qu'indique en unités usuelles [1] le tableau ci-dessous, (ordinairement on prend pour la tension pratique maxima $\frac{T}{\sigma}$ le quart de la charge de rupture $\frac{T_0}{\sigma}$)

NOM DU MÉTAL	COEFFICIENT d'élasticité de glissement G gr : cm²	POIDS spécifique ϖ gr : cm³	CHARGE de rupture $\frac{T_0}{\sigma}$ gr : cm²	COEFFICIENT d'élasticité E gr : cm²	RÉSISTIVITÉ ν en micro-ohms-cm	$\sqrt{\frac{1}{\varpi}\frac{T_0}{\sigma}}$	$\sqrt{\frac{E}{\varpi}}$	$\frac{1}{\varpi}$	$\frac{1}{\varpi\sqrt{\nu}}$
Bronze phosphoreux	$3,2\ 10^8$	9	53×10^5	$8\ 10^8$	1,6	$1,22 \times 10^{2/5}$	$0,94.10^5$	0,11	0,089
Argent	$1,3\ 10^8$	10	36×10^5	$3,2\ 10^8$	1,45	$0,95 \times 10^{2/5}$	$0,56.10^5$	0,10	0,083
Fer.	$5\ 10^8$	7,9	130×10^8	$12,5\ 10^8$	10	$2,015 \times 10^{2/5}$	$1,26.10^5$	0,127	0,04
Aluminimm	$1,1\ 10^8$	2,8	30×10^5	$2,75\ 10^8$	2,9	$1,61 \times 10^{2/5}$	$0,92.10^5$	0,37	0,21

Valeurs des coefficients G. — Les valeurs des coefficients d'élasticité G et des charges de rupture qui figurent dans ces formules ou dans les suivantes ne sont pas ceux que donnent ordinairement les traités. J'ai remarqué d'abord que les fils extrêmement fins que j'utilise pour les bifilaires présentent des coefficients d'élasticité toujours beaucoup plus petits, contrairement à ce qu'on pourrait croire. On sait en effet que le tréfilage et le laminage accroissent ordinairement l'élasticité et la résistance des métaux d'autant plus qu'on diminue davantage le diamètre, jusqu'aux fils de 1 millimètre qui sont une sorte de limite des usages pratiques. Je m'attendais à obtenir des coefficients encore plus favorables pour les fils de moins de 1/10 de millimètre. Au contraire il semble qu'au-dessous d'un certain diamètre, variable d'ailleurs suivant les métaux, les défauts de la filière ou du laminoir se fassent sentir en produisant des stries du même ordre de grandeur que le diamètre ou l'épaisseur du fil. En particulier, par suite de sa faible densité qui en fait un métal à grains peu serrés, l'aluminium se comporte comme un corps poreux et friable au-dessous de 1/10 de millimètre et se casse comme le verre (à moins de l'allier avec 1 à 3 p. 100 de cuivre, ce qui a été fait pour les échantillons étudiés ou employés). J'ai donc dû entreprendre une étude directe des coefficients des fils très fins : les mesures, exécutées avec la collaboration de mes assistants MM. Mathieu et Da Costa, ont consisté simplement dans la détermination des fils et bandes au moyen d'un palmer de précision donnant le 1/1000 de millimètre et dans la

[1] C'est-à-dire le centimètre, le gramme-poids, et la seconde. Les formules sont du reste aisément utilisables en unités C. G. S. en remarquant que G et E sont toujours accompagnés de g dans les formules et que Gg, Eg, Tg ne sont autres choses que les valeurs de G, E et T exprimées en unités C. G. S.

détermination du nombre N d'oscillations par seconde d'une masse de dimensions et de moment d'inertie K connus, suspendue successivement aux divers fils dont on déterminait la longueur l. De ces données, on déduisait le couple de torsion par radian C

$$C = (2\pi N)^2 K,$$

puis le produit de l'élasticité de glissement par le coefficient de Saint-Venant

$$GJ_1 = Cl,$$

d'où finalement en tenant compte des expressions de J_1 (¹), le coefficient G (qui est égal au module de Young φ) est

$$G = \frac{Cl}{J_1}$$

Les résultats des mesures ont été très variables d'un échantillon à l'autre, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, et le laminage a produit aussi des effets très variables, parce qu'il est fort difficile d'obtenir un laminage parfaitement régulier sous d'aussi faibles épaisseurs et largeurs.

En unités centimètre, gramme-poids, seconde (pour comparer aux valeurs usuelles ainsi exprimées) on a trouvé ainsi que :

Pour des fils d'acier de diamètres décroissants de 7 à 3 centièmes de millimètre G variait de 11×10^8 à $7,7 \times 10^8$; pour des bandes du même métal obtenues en laminant les fils précédents jusqu'à 1 ou 2 centièmes de millimètre d'épaisseur G s'abaissait entre 7,8 et 4×10^8.

Il en était de même avec les fils de fer, qui ne paraissaient pas inférieurs notablement aux fils d'acier.

Le bronze phosphoreux a donné pour des fils et bandes de mêmes dimensions des valeurs de G variant progressivement de 12 à 3×10^8 ; pour l'argent les chiffres correspondants varient de 2 à $1,2 \times 10^8$; pour l'aluminium, de 2 à 1×10^8 ; pour le platine de 8 à 2×10^8.

En pratique, pour les bandes laminées, telles qu'on les emploie, on peut admettre les chiffres suivants de G comme des minimums :

Bronze 3,2, argent 1,3, fer 5, aluminium $1,1 \times 10^8$.

De même pour les charges de rupture, on peut admettre, d'après d'autres mesures directes :

Bronze 53, argent 36, fer 130, aluminium 30 kg par millimètre carré, ou les mêmes chiffres multipliés par 10^5 en grammes par centimètre carré.

Les expressions de G et T en C. G. S. s'obtiendraient en multipliant par 981. On voit que les valeurs de G sont inférieures à celles connues sous le nom de module de Young, à savoir (Mascart et Joubert, t. II, p. 66) ;

Cuivre 4,41, argent 2,72, fer 7,73, aluminium $2,65 \times 10^8$.

Mais au contraire les charges de rupture sont supérieures à celles admises ordinairement, telles que : fil de fer 120, de bronze 45, aluminium 20×10^5.

Les chiffres du tableau ci-dessus sont intéressants surtout par les quatre dernières colonnes, dont les deux premières montrent qu'il y a sensiblement équivalence entre le bronze et l'aluminium tel qu'on l'obtient sous ces faibles diamètres, au point de vue des fréquences réalisables ; la supériorité très grande qu'auraient donné à l'aluminium les coefficients usuels est donc rendue négligeable par la réduction que subit l'élasticité de ce métal sous les très petits diamètres. Il conserve seulement un avantage de sensibilité ; mais on verra plus loin qu'avec un miroir il devient inférieur au point de vue de la fréquence.

(¹) Pour les fils ronds

$$J_1 = \frac{\pi}{2} r^4$$

Pour les fils plats

$$J_1 = \frac{2'}{3} \frac{b^3 c^3}{b^2 + c^2}$$

Effet d'une tension supplémentaire. — Le cas d'un prisme tendu artificiellement peut être traité assez facilement comme une extension du cas, précédent moyennant quelques hypothèses simplificatrices. On admettra que chaque file de molécules de chaque bande, soumise à une traction longitudinale en même temps qu'à la vibration tournante, se comporte comme un fil soumis à des vibrations transversales ordinaires ; les efforts d'élasticité dans le sens longitudinal sont alors négligeables à côté de la tension produite par la force extérieure, de même que les effets d'élasticité dus à la torsion.

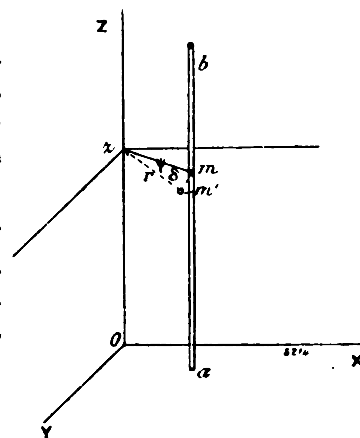


Fig. 2.

Dans ces conditions, si on appelle $\frac{T}{\sigma}$ la tension par unité de section, chaque filet ab parallèle à l'axe du bifilaire (fig. 2) et de section $d\sigma$, situé à une distance r de l'axe oz, se trouve écarté de sa position de repos m d'une distance δ, qui, pour des angles ψ très petits, est donnée sensiblement par la relation

$$\delta = r\psi.$$

ψ étant l'angle de torsion dans le plan z ; δ varie comme ψ de a à b.

La tension tout le long du filet étant égale à $\frac{T}{\sigma}\, d\sigma$, un élément de filet de hauteur dz situé en M est soumis à une force dirigée suivant $m'm$ et sensiblement perpendiculaire à om, ayant l'expression connue de la théorie des cordes vibrantes :

$$\frac{T}{\sigma}\, d\sigma \times \frac{d^2\delta}{dz^2} = \frac{T}{\sigma}\, d\sigma \times r\, \frac{d^2\psi}{dz^2} ;$$

en appelant r la distance du filet à l'axe de symétrie de la corde oz ; elle donne lieu autour de l'axe oz à un couple

$$r \times \left(\frac{T}{\sigma}\, d\sigma \times r\, \frac{d^2\psi}{dz^2}\right).$$

Dans la section du bifilaire par le plan om, on a ainsi un couple résultant

$$\frac{T}{\sigma}\, \frac{d^2\psi}{dz^2} \int r^2 d\sigma = \frac{T}{\sigma}\, \frac{d^2\psi}{dz^2}\, J$$

en appelant toujours J le moment d'inertie de la section autour de l'axe oz. En ajoutant ce couple à celui dû à la torsion

$$GJ_1\, \frac{d^2\psi}{dz^2}$$

et retranchant, comme plus haut, le couple dû aux forces d'inertie, on trouve

$$GJ_1\, \frac{d^2\psi}{dz^2} + \frac{T}{\sigma}\, J\, \frac{d^2\psi}{dz^2} - \rho J\, \frac{d^2\psi}{dt^2} = 0 \qquad (1)$$

c'est-à-dire une équation de la forme

$$\frac{d^2\psi}{dz^2} = \alpha^2\, \frac{d^2\psi}{dt^2}$$

dans laquelle

$$\alpha^2 = \left(G\, \frac{J_1}{J} + \frac{T}{\sigma}\right) \frac{g}{\varpi}$$

ce qui revient à remplacer le coefficient de torsion de Saint-Venant, GJ_1 par $GJ_1 + J\, \frac{T}{\sigma}$.

Le nombre fondamental des vibrations est donc donné par la formule intéressante

$$N = \frac{1}{2l'}\sqrt{\frac{g}{\varpi}\left(G\frac{J_1}{J} + \frac{T}{\tau}\right)}$$
$$= \sqrt{N''^2 + N'^2}.$$

en appelant N′ le nombre d'oscillations tournantes sans tension et N″ le nombre d'oscillations transversales de chaque brin s'il était seul.

Les nombres de vibrations possibles avec les divers métaux s'en déduiront aisément, comme $\frac{G}{\varpi}$ et $\frac{T}{\tau\varpi}$ sont à peu près proportionnels pour chacun des métaux comparés, les rapports des vibrations sont à peu près les mêmes que pour les bifilaires non tendus étudiés tout d'abord.

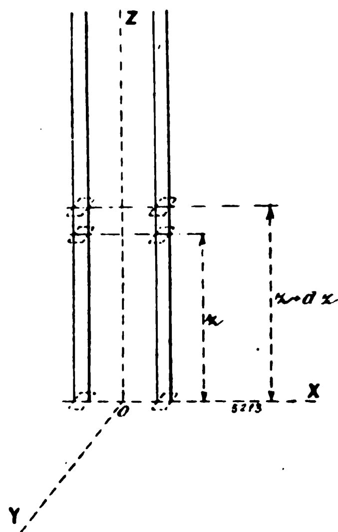


Fig. 3.

Cas général de deux brins séparés. Influence de l'écartement des fils. — Dans ce qui précède on a supposé les 2 bandes du bifilaire assez rapprochées pour pouvoir être assimilées à une seule bande fendue suivant son axe; la fente tant qu'elle est très étroite ne change rien en effet aux phénomènes puisque les déformations dues à la torsion sont nulles sur l'axe.

Si au contraire les bandes sont un peu écartées, cette assimilation devient peu exacte et il vaut mieux raisonner autrement. On peut alors appliquer une remarque fort intéressante de Saint-Venant(1), à savoir que le couple de torsion d'un système de deux prismes tordus ensemble est sensiblement égal à la somme des couples de torsion de chacun séparément.

Dans les formules précédentes, qui seront conservées, nous aurons donc simplement à poser pour le coefficient de torsion du bifilaire J_1

$$J_1 = 2j_1$$

en appelant j_1, le coefficient de torsion de la section de chaque fil autour de son propre axe.

D'autre part on exprimera le moment d'inertie J de l'ensemble des deux sections d'aire s en fonction des moments d'inertie j de chacune autour de leur axe, et de la distance a de ces deux axes, par la relation connue

$$J = 2j + 2s\left(\frac{a}{2}\right)^2 = 2\left(j + \frac{sa^2}{4}\right).$$

En substituant ces expressions dans la formule générale du nombre de vibrations, on obtient

$$N = \frac{1}{2l'}\sqrt{\frac{g}{\varpi}\left(G\frac{j_1}{j+\frac{sa^2}{4}} + \frac{T}{\tau}\right)}.$$

Cette formule met en évidence une influence défavorable de l'écartement des deux fils; si l'expérience indique dans certains cas pour les petits bifilaires un plus grand nombre de vibrations quand les fils sont plus écartés, cela provient sans doute de ce que l'inertie du miroir joue un rôle important en comparaison de l'inertie du bifilaire; car alors le couple de torsion produit par la tension des fils croit avec leur écartement, plus vite que l'inertie totale du système.

L'expression de N permet aussi de comparer différentes formes de fils, en particulier les fils ronds et les fils plats. Pour les premiers on a, en appelant r leur rayon, d'après une formule classique

$$j_1 = j = \frac{\pi r^4}{2}; \quad \text{d'où} \quad J_1 = \pi r^4, \quad \text{et} \quad J = \pi r^4 + \frac{\pi a^2 r^2}{2}.$$

(1) *Loc. cit.*, p. 266.

D'où

$$N = \frac{1}{2l'}\sqrt{\frac{g}{\varpi}}\sqrt{\frac{G}{1+\frac{a^2}{2r^2}}+\frac{T}{\sigma}}$$

$$\frac{\psi}{i} = \frac{1}{16}\,\frac{\mathcal{K}g}{\varpi N^2}\,\frac{d}{\pi r^2(2r^2+a^2)}.$$

Tandis que pour les fils plats d'après ce qui précède, en appelant b et c la largeur et l'épaisseur de chacun

$$s = bc$$

$$j = bc\,\frac{b^2+c^2}{12}. \qquad j_1 = \frac{\mu'}{3}\,\frac{b^3c^3}{b^2+c^2}$$

$$\sqrt{\frac{j_1}{j}} = \frac{2bc}{b^2+c^2}\sqrt{\mu'}. \qquad J = \frac{bc}{6}(b^2+c^2+3a^2).$$

$$N = \frac{1}{2l'}\sqrt{\frac{g}{\varpi}}\sqrt{\frac{G\mu'\left(\frac{2bc}{b^2+c^2}\right)^2}{1+\frac{3a^2}{b^2+c^2}}+\frac{T}{\sigma}}$$

$$\frac{\psi}{i} = \frac{3}{16}\,\frac{\mathcal{K}g}{\varpi N^2}\,\frac{a}{bc(b^2+c^2+3a^2)}.$$

Le coefficient de G est extrêmement variable suivant les cas. Supposons par exemple que les fils se touchent, c'est-à-dire $a = 2r$ et $a = b$. Le coefficient de G devient pour les fils ronds $\frac{1}{3}$ et pour les fils plats

$$\mu'\,\frac{(2bc)^2}{(b^2+c^2)^2+3b^2(b^2+c^2)} = \mu'\,\frac{(2bc)^2}{4b^4+5b^2c^2+c^4}$$

valeur peu différente de

$$\mu'\left(\frac{2bc}{2b^2+c^2}\right)^2.$$

Cette fraction est numériquement comprise entre la valeur $\frac{2}{5}$ $0{,}85 = 0{,}34$ pour $\frac{b}{c} = 1$, et la valeur.

$$0{,}857 \times \left(\frac{4}{5}\right)^2 \frac{5}{170} = 0{,}16 \text{ pour } \frac{b}{c} = 2.$$

et

$$\frac{1}{10}\,0{,}95 = 0{,}095 \text{ pour } \frac{b}{c} = 10.$$

Supposons les fils écartés davantage, par exemple $a = 3r$ pour les fils ronds, et $a = 3\frac{b}{2}$ pour les fils plats. On a pour coefficient multiplicateur de l'élasticité de glissement dans le cas des fils ronds

$$\frac{2}{11} = 0{,}18$$

et dans le cas des fils plats

$$0{,}84\,\frac{8}{35} = 0{,}192 \text{ pour } \frac{b}{c} = 1$$

$$0{,}857\,\frac{5}{32}\,\frac{16}{25} = 0{,}086 \text{ pour } \frac{b}{c} = 2$$

$$0{,}95\,\frac{8}{100} = 0{,}007 \text{ pour } \frac{b}{c} = 10.$$

Ces formules montrent combien la forme de la section et l'écartement influent sur le nombre de vibrations. Les fils ronds sont sensiblement équivalents aux fils carrés et supérieurs aux fils plats quand l'espacement est nul ou égal à la demi-largeur d'un brin. On n'obtient pas mieux en employant des fils placés sur champ, c'est-à-dire plus épais que larges $(b < c)$; supposons par exemple, qu'on fasse (et ce sont pratiquement des minima) $c = 2b$ $a = 2b$, le coefficient de G

devient

$$0,857 \times \left(\frac{4}{5}\right)^2 \times \frac{5}{17} = 0,16$$

chiffre inférieur au précédent.

En définitive, on voit qu'abstraction faite de la question pratique du collage du miroir, on devrait employer de préférence des fils ronds ou carrés aussi rapprochés que possible. Suivant les proportions du fil l'écartement et le nombre de vibrations peut dépendre surtout de $\frac{T}{\sigma}$ ou de G.

Soit par exemple un bifilaire plat et ramassé défini par $\frac{b}{c} = 2$ et $a = \frac{3b}{2}$

on a

$$N = \frac{1}{2l'} \sqrt{\frac{g}{\varpi}} \sqrt{0,086\, G + \frac{T}{\sigma}}.$$

Soit pour l'aluminium : $G = \frac{2}{5}$ E $= \frac{2}{5}$ 2 500 = 1 000 kg par millimètre carré $\frac{T}{\sigma} = \frac{2}{3}$ de la charge de rupture = 20 kg par millimètre carré.

On voit que sous la parenthèse le premier terme est égal à 86 et le second à 20 :

$$N = \frac{1}{2l'} \sqrt{\frac{g}{\varpi}} \sqrt{86 + 20}\ \sqrt{10^5}$$

(le facteur $\sqrt{10^5}$ étant ajouté pour rapporter les tensions au gramme par centimètre carré).

La torsion est donc prépondérante relativement à la tension, bien que celle-ci soit poussée très près de la charge de rupture.

Soit au contraire un bifilaire mince et peu serré défini par $a = 2\,b$, $b = 10\,c$; on aura avec la tension de 10 kg seulement par millimètre carré

$$N = \frac{1}{2l'} \sqrt{\frac{g}{\varpi}} \sqrt{\frac{2 \times 0,95}{1\,300} G + \frac{T}{\sigma}} = \frac{1}{2l'} \sqrt{\frac{g}{\varpi}} \sqrt{1,5 + 10}\ \sqrt{10^5}$$

c'est-à-dire que la torsion est négligeable devant la tension pour l'aluminium.

En outre dans le second cas, le bifilaire ne donnera que moins du tiers du nombre de vibrations obtenu dans le premier et une variation de tension modifiera considérablement la fréquence, tandis que dans le premier cas elle est pratiquement sans influence.

Avec le bronze phosphoreux on trouve des résultats analogues, quoique différents en valeur absolue parce que les coefficients G E° sont beaucoup plus grands que pour l'aluminium (environ trois fois plus). Les exemples numériques donnés ci-dessous en note dans le cas de ce métal éclairciront plus complètement cette question [1].

---

[1] Soit par exemple un bifilaire en bronze formé de bandes parallèles 0,015/0,0015 ; distance des axes 0,03 cm.

Moment d'inertie polaire de chaque section :

$$j = bc.\ \frac{b^2 + c^2}{12} = (0,015)\ (0,0015)\ \frac{\overline{0,015}^2 + \overline{0,0015}^2}{12} = \frac{421875}{10^{15}}.$$

Coefficient j_1 de Saint-Venant.

$$j_1 = \frac{\mu^1}{3} \cdot \frac{b^3 c^3}{b^2 + c^2} = \frac{0,94}{3}\ \frac{(0,015)^3\ (0,0015)^3}{(\overline{0,015})^2 + (\overline{0,0015})^2} = \frac{15694}{10^{15}}.$$

Quotient $\frac{j_1}{j}$.

$$\frac{j_1}{j} = 4\mu' \cdot \frac{b^2 c^2}{(b^2+c^2)^2} = 4 \times 0,94 \cdot \frac{(0,015)^2\ (0,0015)^2}{(\overline{0,015}^2 + \overline{0,0015}^2)^2} = \frac{3,72}{10^2}.$$

Il est intéressant de remarquer que les chiffres auxquels on est conduit ne diffèrent pas beaucoup en général de ceux qu'on obtiendrait en supposant les deux bandes parallèles réunies entre elles par une zône de métal de même épaisseur. On s'en rend compte par exemple en recommençant les calculs dans cette nouvelle hypothèse (1) ; cela n'a rien d'étonnant du reste parce que la partie centrale de la bande unique de même largeur totale que le bifilaire correspondant ne joue qu'un faible rôle, aussi bien au point de vue de l'élasticité qu'à celui de l'inertie.

1° Tension o. — On néglige l'influence du miroir :

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{\varpi}\left(G \cdot \frac{j^1}{j + \frac{sa^2}{4}}\right)}$$

$$N = \frac{1}{2 \times 1,5}\sqrt{\frac{981}{9}\,\frac{3 \cdot 10^8\,\frac{15694}{10^{15}}}{\frac{421875}{10^{15}} + \frac{(0,015)\,(0,0015) \cdot \overline{0,03}^2}{4}}}$$

$$= \frac{1}{3}\sqrt{8,58 \times 10^5} = 3245.$$

2° Tension 18 kg/$\overline{\text{mm}}^2$ ou 18×10^5 gr : cm²

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{\varpi}\left(\frac{Gj_1}{j + \frac{sa^2}{4}} + \frac{T}{\sigma}\right)}$$

$$N = \frac{1}{2 \times 1,5}\sqrt{\frac{981 \times 8,58}{9} + 18 \times 10^5}$$

$$N = 5690$$

3° Tension 36 kg/$\overline{\text{mm}}^2$ ou 36×10^5 gr : cm²

$$N = \frac{1}{2 \times 1,5}\sqrt{\frac{981}{9}\,(8,58 + 36)\,10^5}$$

$$N = 7363.$$

(1) Voici les résultats de ces nouveaux calculs appliqués au cas de la note 1 :

Dimensions des bandes	Largeur	$b = 0,015$ cm
	Epaisseur	$c = 0,0015$ cm
	Longueur	$l = 1,5$ cm
Distance des axes des bandes		$a = 0,03$ cm
Coefficient d'élasticité de glissement (C. G. S.)		$G = 3 \times 10^8 \times 981$
Charge de rupture $\left(\frac{\text{kg}}{\overline{\text{mm}}^2}\right)$		$\frac{T_0}{\sigma} = 53.$

1er *cas*. — Bande unique ayant la largeur totale du bifilaire soit : $b = 0,045$ cm.

Moment d'inertie polaire de la section J.

$$J = bc.\,\frac{b^2 + c^2}{12} = (0,045)\,(0,0015)\,\frac{\overline{0,045}^2 + \overline{0,0015}^2}{12} = \frac{114}{10^{10}}.$$

Coefficient de Saint-Venant J_1.

$$J_1 = \frac{\mu'}{3}\,\frac{b^3c^3}{b^2 + c^2} = \frac{0,94}{3}\,\frac{\overline{0,045}^3 \times \overline{0,0015}^3}{\overline{0,045}^2 + \overline{0,0015}^2} = \frac{48}{10^{12}}.$$

Quotient $\frac{J_1}{J}$.

$$\frac{J_1}{J} = 4\mu'\,\frac{b^2\,c^2}{(b^2 + c^2)^2} = 4 \times 0,94.\,\frac{\overline{0,045}^2 \cdot \overline{0,0015}^2}{(\overline{0,045}^2 + \overline{0,0015}^2)^2} = \frac{41,5}{10^4}.$$

....

Evaluation de l'effet du miroir. — L'influence du miroir sur la période est beaucoup plus considérable, comme on va le voir, surtout pour l'aluminium. Le calcul se fait comme plus haut, en remplaçant dans la formule de la fréquence N″ la longueur vraie du bifilaire par une longueur fictive l'; celle-ci se détermine comme plus haut par l'équation transcendante.

$$\operatorname{tg}\frac{\pi l}{2l'} = \frac{2l'GJ_1}{\pi\alpha^2 I}$$

D'où, en remplaçant, α^2 par sa valeur actuelle.

$$\operatorname{tg}\frac{\pi l}{2l'} = \frac{2l'}{\pi I}\,\frac{\frac{\omega}{g}}{\frac{1}{J}+\frac{T}{\sigma GJ_1}} = \frac{2l'}{\pi l}\,\frac{I'}{I\left(1+\frac{TJ}{\sigma GJ_1}\right)}$$

En mettant cette équation sous la forme équivalente, suivante (facilement traitable par logarithme en prenant $\frac{\pi}{2}\frac{l}{l'}$ comme angle auxiliaire),

$$\left(\frac{\pi l}{2l'}\right)\operatorname{tg}\frac{\pi l}{2l'} = \frac{I'}{I\left(1+\frac{\sigma GJ_1}{TJ}\right)},\ = \frac{1}{4lN^2}$$

en appelant N le nombre de vibrations avec tension sans miroir on voit que le rapport $\frac{l}{l'}$ diminuera, et par suite aussi le nombre de vibrations, en même temps que décroîtra le rapport $\frac{I'}{I}$ de l'inertie du bifilaire à l'inertie du miroir; il diminuera aussi quand on fera croître la tension, d'autant plus que le terme dû à celle-ci sera plus important par rapport au terme dû à l'électricité. L'influence de l'inertie du miroir sera donc d'autant moins sensible qu'on emploiera des fils plus gros, plus élastiques et plus denses.

A ce point de vue l'aluminium et l'argent deviennent moins favorable que le fer et le bronze phosphoreux; c'est pourquoi l'aluminium. qui donne le plus grand nombre de vibrations avec un miroir très léger et très petit, devient inférieur au bronze phosphoreux dans les cas usuels. Il est d'ailleurs difficile d'employer le fer à cause de sa mauvaise conductibilité et surtout parce qu'il est magnétique et que les bandes viennent se coller contre les pièces polaires de l'électro-aimant; c'est dommage, car on obtient ainsi des fréquences élevées dépassant 15000.

On peut remarquer aussi que le facteur entre parenthèses au dénominateur du second membre

---

1° Bande sans tension, en négligeant l'influence du miroir :

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Gg}{\varpi}\cdot\frac{J_1}{J}}.$$

$$= \frac{1}{2.1,5}\sqrt{10^5\cdot\frac{981}{9}\cdot 12,45} = 4180.$$

2° Même bande, tension $\frac{18\ \text{kg}}{\text{mm}^2}$:

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{\varpi}\left(G\,\frac{J_1}{J}+\frac{T}{\sigma}\right)}.$$

$$= \frac{1}{2\times 1,5}\sqrt{\frac{981}{9}\left(12,45+18\right)10^5} = 6060.$$

3° Même bande, tension (excessive) $\frac{36\ \text{kg}}{\text{mm}^2}$:

$$N = \frac{1}{2\times 1,5}\sqrt{\frac{981}{9}\left(12,45+36.\right)10^5} = 7635.$$

de l'équation précédente variera peu en pratique d'un métal à un autre puisque les coefficients JJ_1 sont purement géométrique et que les tensions T admissibles sont à peu près proportionnelles aux coefficients G des divers métaux.

L'influence du miroir sera naturellement aussi d'autant plus sensible que le bifilaire sera plus court.

Des calculs numériques seuls permettent de se faire une idée, dans les divers cas, de l'ordre de grandeur de l'accroissemant de la période [1].

---

[1] Considérons le bifilaire de la note 1 (p. 336) et ajoutons-y un petit miroir.

1er *Cas.* — Dimensions du miroir. . . . . { longueur 0,05 cm ; largeur 0,01 » ; hauteur 0,05 »

Longueur de la bande équivalente sans miroir à la bande avec miroir.

1° Sans tension.

$$\operatorname{tg} \frac{\pi l}{2l'} = \frac{l'}{\pi l} \cdot \frac{I'}{\left(\frac{I}{2}\right)}.$$

I = moment d'inertie du miroir autour d'un axe vertical passant par son centre et parallèle à la bande.
Rayon de giration.

$$\gamma^2 = \frac{\overline{0,05}^2 + \overline{0,01}^2}{12} = \frac{2,09}{10^4}$$

$$\text{Volume} = 0,05 \times 0,01 \times 0,05 = \frac{25}{10^6}.$$

Densité du verre 2,5

d'où

$$I = 2,5 \times \frac{25}{10^6} \times \frac{2,09}{10^4} = \frac{13}{10^9}$$

I' = Inertie fictive de la bande ;

$$I' = \left(\frac{\varpi}{g}\right).l.J = 9 \times 1,5 \times \frac{421.875}{10^{15}} = \frac{574}{10^{11}}$$

$$\text{Valeur de } \frac{I'}{\left(\frac{I}{2}\right)} = \frac{2 \times 574}{13 \times 10^2} = 0,88$$

Donc à résoudre

$$\operatorname{tg} \frac{\pi}{2} \frac{l}{l'} = \left(\frac{2}{\pi} \frac{l'}{l}\right) 0,44$$

d'où

$$l' = 2,54 . l$$

Le nombre de vibrations est réduit dans le rapport $\frac{1}{2,54}$

2° Avec tension 18 kg/mm².

$$\operatorname{tg} \frac{\pi}{2} \frac{l}{l'} = \frac{2l'}{\pi l} \frac{I'}{\left(1 + \frac{T}{\sigma} \frac{j}{Gj_1}\right) I}$$

$$\frac{T}{\sigma} = 18.10^5.981 \qquad j = \frac{421.875}{10^{15}}$$

$$j_1 = \frac{15.694}{10^{15}} \qquad G = 3.10.^8.981$$

Equation du mouvement d'un équipage bifilaire parcouru par le courant à étudier. — Cela posé, l'équation du mouvement vibratoire de l'oscillographe bifilaire, qui n'est qu'un double système prismatique (fig. 2) s'établit aisément en égalant le second membre de l'équation (1) non

---

d'où

$$\frac{T}{\sigma}\frac{j}{Gj_1} = \frac{18 \times 10^5 \times 981 \times 421.875}{3 \times 10^8 \times 981 \times 15.694} = 0,161$$

$$\operatorname{tg}\frac{\pi}{2}\frac{l}{l'} = \frac{2}{\pi}\frac{l'}{l}\,0,380$$

ou

$$l' = 2,88.l$$

Le nombre des vibrations est réduit dans le rapport $\frac{1}{2,88}$.

2e *cas.* — Dimensions du miroir	Largeur		= 0,03 cm.
	Epaisseur.		= 0,01 cm.
	Hauteur		= 0,05 cm.
Bandes	Largeur	b	= 0,015 cm.
	Epaisseur.	c	= 0,003 cm.

Moment d'inertie polaire de la section.

$$j = bc.\frac{b^2+c^2}{12} = (0,015)\ (0,003.)\ \frac{\overline{0,015}^2 + \overline{0,003}^2}{12} = \frac{878}{10^{12}}$$

Coefficient de Saint-Venant.

$$j_1 = \frac{\mu'}{3}\cdot\frac{b^3c^3}{b^2+c^2} = \frac{0,94}{3}\ \frac{(0,015)^3\,(0,003)^3}{\overline{0,015}^2 + \overline{0,003}^2} = \frac{1218}{10^{13}}$$

Calcul de $\frac{j_1}{j} = 4\,\mu'.\ \frac{b^2c^2}{(b^2+c^2)^2} = 4 \times 0,94.\ \frac{\overline{0,015}^2\ \overline{0,003}^2}{(\overline{0,015}^2 + \overline{0,003}^2)^2} = 0,144$

Inertie fictive de la bande I'

$$I' = \left(\frac{\omega}{g}\right) l\, j = 9 \times 1,5 \times \frac{878}{10^{12}} = \frac{1187}{10^{11}}$$

Valeur de $\frac{I'}{\left(\frac{I}{2}\right)} = 7,6$

1° Tension 0; d'où à résoudre l'équation

$$tg\ \frac{\pi}{2}\frac{l}{l'} = \frac{2l'}{\pi l}.3,8$$

$$l' = 1,25\,l$$

2° Tension $\frac{18\ \text{kg}}{\text{mm}^2}$:

$$1 + \frac{T}{\sigma}\cdot\frac{j}{Gj_1} = 1 + \frac{18.10^5.981}{3.10^8.981}\cdot\frac{878}{10^{12}}\cdot\frac{10^3}{1218} = 1,042.$$

d'où à résoudre :

$$\operatorname{tg}\frac{\pi}{2}\frac{l}{l'} = \frac{l'}{l}\cdot 2,43$$

$$l' = 1,26\ l.$$

Le nombre des vibrations se réduit dans le rapport $\frac{1}{1,26}$.

On voit qu'avec des miroirs très légers sur bandes de bronze la période peut n'être allongée que de 25 p. 100 ; en pratique, c'est un minimum rarement atteint, à cause de la nécessité de réaliser une bonne image, et on se rapproche bien plutôt du 1er cas.

plus à zéro, mais au couple déviant produit par le courant, dont nous désignerons par i la valeur instantanée. L'expression

$$\mathcal{H} i a dz$$

représentera le couple déviant élémentaire, dû à l'action du courant sur l'élément de hauteur dz découpé sur le bifilaire entre les deux tranches z et $z + dz$ considérées ci-dessus. D'autre part, nous tiendrons compte de l'amortissement par un terme proportionnel à la vitesse $A \frac{d\psi}{dt}$ qui s'ajoute à l'effet de l'inertie. D'où

$$-\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\frac{d^2\psi}{dz^2} + A\frac{d\psi}{dt} + \rho J \frac{d^2\psi}{dt^2}\ \mathcal{H} i a = 0. \tag{3}$$

Le courant i qu'il s'agit d'établir est une fonction périodique, qu'on peut mettre encore sous la forme d'une série de Fourier impaire

$$I = I_1 \sin(\omega t - \beta_1) + I_3 \sin(3\omega t - \beta_3) + \ldots\ldots$$
$$+ I_n \sin(n\omega t - \beta_n) + \ldots\ldots$$

Le champ magnétique $\mathcal{H}$ auquel le fil est soumis est lui-même en général réparti d'une façon variable le long des fils de longueur l, mais il est toujours symétrique par rapport à un plan horizontal mené par le milieu du bifilaire; on peut donc représenter sous sa forme la plus générale, la répartition des lignes de force, par une série de Fourier impaire sans décalages

$$\mathcal{H} = H_1 \sin\frac{\pi z}{l} + H_3 \sin\frac{3\pi}{l} z + \ldots\ldots$$

De sorte que le second membre de l'équation peut être ramené dans tous les cas à une série de la forme

$$\sum a H_m I_n \sin\frac{m\pi}{l} z \sin(n\omega t - \beta_n).$$

Une fois le régime permanent établi, l'angle ψ aura pour valeur évidemment une série de même forme

$$\psi = \left\{\begin{array}{l} \sin\frac{\pi z}{l}[B_{1,1}\sin(\omega t - \beta_1 - \varphi_{1,1}) + B_{1,3}\sin(\omega t - \beta_3 - \varphi_{1,3}) + \ldots\ldots \\ + \sin\frac{3\pi z}{l}[B_{3,1}\sin(\omega t - \beta_1 - \varphi_{3,1}) + B_{3,3}\sin(3\omega t - \beta_3 - \varphi_{3,3}) + \ldots\ldots \\ + \ldots\ldots \\ + \sin\frac{m\pi z}{l}[B_{m,1}\sin(\omega t - \beta_1 - \varphi_{m,1}) + B_{m,3}\sin(3\omega t - \beta_3 - \varphi_{m,3}) + \ldots\ldots \\ + \ldots\ldots \end{array}\right.$$

qu'on peut représenter simplement par

$$\psi = \sum B_{mn} \sin\frac{m\pi}{l} z \sin(n\omega t - \beta_n - \varphi_{mn}) \tag{4}$$

Car tout terme de ce genre peut satisfaire à l'équation différentielle (3) à la seule condition de déterminer les constantes B_{mn} et φ_n. Pour tenir compte du miroir, l sera remplacé par sa valeur corrigée l' calculée plus haut.

Au point de vue physique, cela revient à dire que le bifilaire vibrera non seulement dans son ensemble, mais se fractionnera en même temps en concamérations plus petites et impaires, dans lesquelles se produiront de petites vibrations parasites de mêmes fréquences que les vibrations principales.

La détermination des B et des φ se fait en substituant l'expression (4) et faisant l'identification[1]. On obtient les expressions :

$$B_{mn} = \frac{aH_m I_n}{\sqrt{(n\omega A)^2 + \left[\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 - \omega^2 n^2 \rho J\right]^2}}$$

$$\operatorname{tg} \psi_{mn} = \frac{n\omega A}{\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 - \omega^2 n^2 \rho J}.$$

Si l'on pose

$$\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 = C_m \qquad \text{(Couple de torsion élémentaire.)}$$

$$\rho J = K \qquad \text{(Moment d'inertie de la section.)}$$

Ces formules s'écrivent aussi plus simplement

$$B_{mn} = \frac{aH_m I_n}{C_m\sqrt{\left(n\omega\frac{A}{C_m}\right)^2 + \left[1 - n^2\omega^2\frac{K}{C_m}\right]^2}}$$

$$\operatorname{tg} \psi_n = \frac{n\omega A}{C_m\left(1 - n^2\omega^2\frac{K}{C_m}\right)}.$$

Elles sont de même forme que pour l'oscillographe à fer doux. Seulement il y a deux différences à noter : d'une part le couple et l'inertie se rapportent ici à la *section* droite et non au volume entier du corps vibrant. D'autre part, le couple directeur C_m a une expression complexe qui dépend

---

(1) On trouve ainsi :

$$B_{mn} \sin(n\omega l - \beta_n - \varphi_{mn})\left[\left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 - \rho J\,(n\omega)^2\right]$$
$$+ A\,n\omega\,B_{mn}\cos(n\omega t - \beta_n - \varphi_{mn}) = aH_m I_n \sin(n\omega t - \beta_n).$$

Posons pour simplifier :

$$P = \left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 - \rho J\,(n\omega)^2$$
$$Q = n\omega A$$
$$\beta_n - \psi_{mn} = \gamma$$

et identifions les coefficients de sin $n\omega t$ et cos $n\omega t$

$$B_{mn}(P\cos\gamma - Q\sin\gamma) = aH_m I_n \cos\beta_n$$
$$B_{mn}(Q\cos\gamma + P\sin\gamma) = aH_m I_n \sin\beta_n$$

D'où

$$B_{mn} = \frac{H_m I_n}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$\cos\gamma = \frac{aH_m I_n}{B_{mn}}\;\frac{P\cos\beta_n - Q\sin\beta_n}{\sqrt{P^2+Q^2}}$$

$$\sin\gamma = \frac{aH_m I_n}{B_{mn}}\;\frac{Q\cos\beta_n + P\sin\beta_n}{\sqrt{P^2+Q^2}}$$

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{P\sin\beta_n + Q\cos\beta_n}{P\cos\beta_n - Q\sin\beta_n} = \operatorname{tg}\left(\varphi_n + \operatorname{arc\,tg}\frac{Q}{P}\right).$$

D'où

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \operatorname{tg}(\gamma - \beta_n) = \frac{Q}{P}.$$

non seulement de l'élasticité transversale G et de la tension $\frac{T}{\sigma}$ mais aussi de m, c'est-à-dire de la division en harmoniques
supérieures produites par les inégalités du champ magnétique.

La condition pour que l'oscillographe soit bon est que les déviations au centre $\left(\frac{\pi z}{l}=\frac{\pi}{2}\right)$ diffèrent très peu à chaque instant de ce qu'elles seraient pour un courant constant de même valeur. Il convient donc de déterminer les déviations statiques.

Elles sont les solutions de l'équation (3), si l'on supprime les dérivées par rapport à t, c'est-à-dire de

$$-\left(GJ_1+J\frac{T}{\sigma}\right)\frac{d^2\psi}{dz^2}=\mathcal{H}ia\,;$$

équation dans laquelle le second membre est une série simple en z ayant pour terme général

$$ai\,H_m\sin\frac{m\pi z}{l}.$$

Le terme général $B_m \sin \frac{m\pi z}{l}$ correspondant à celui du second membre s'en déduit par l'identification

$$B_m\left(GJ_1+J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2=ai\,H_m.$$

D'où

$$B_m=\frac{aiH_m}{\left(GJ_1+J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2}=\frac{aiH_m}{C_m}.$$

La période d'oscillation propre Θ du bifilaire, qui s'obtient en faisant le second membre égal à zéro dans l'équation différentielle, a pour expression, dans le cas ou le bifilaire subdivise en m concamérations,

$$\Theta=\frac{2l}{m}\sqrt{\frac{J\rho}{GJ_1+J\frac{T}{\sigma}}}$$

$$=2\pi\sqrt{\frac{K}{C_m}}=\frac{2\pi}{m}\sqrt{\frac{K}{C_1}}=\frac{\Theta_0}{m}$$

en appelant Θ_0 la période fondamentale correspondante à $m=1$.

Si donc on désigne par λ le rapport $\frac{\Theta_0}{T}$ de cette période propre Θ_0 à la période T du courant alternatif, et α le coefficient d'amortissement $\left(\alpha=\frac{A}{\sqrt{4KCm}}\right)$, on obtient au numérateur les formules suivantes :

$$B_{mn}=\frac{aH_mI_n}{C_m\sqrt{(2n\lambda\alpha)^2+\left(1-\frac{n^2\lambda^2}{m^2}\right)^2}}$$

$$\text{tg}\,\psi_n=\frac{2n\lambda\alpha}{1-\frac{n^2\lambda^2}{m^2}}.$$

Elles montrent que le terme correctif principal dû à l'inertie est d'autant plus faible que m est plus élevé. Si donc l'oscillographe est construit de façon que l'erreur due à l'inertie et à l'amortissement soit très faible ponr l'hypothèse où le champ est sinusoïdal ($m=1$), les erreurs seront encore plus faibles sur les termes additifs correspondant aux harmoniques supérieurs ($m>1$).

Il suffit donc, pour avoir un bon oscillographe, de rendre négligeable le dénominateur de B_{mn} et le décalage $tg\,\psi_n$ dans le cas de $m = 1$. On retombe alors sur les mêmes expressions que dans mon précédent article; celles-ci ont donc bien un caractère général.

En outre, si les conditions qui y sont indiquées sont remplies, on voit qu'il importe peu que la répartition du champ le long du bifilaire se fasse suivant une loi plutôt que suivant une autre.

La plus simple en théorie serait la forme sinusoïdale $\mathcal{H} = \mathcal{H}_0 \sin \frac{\pi z}{l}$; mais on peut en pratique se contenter d'un champ à peu près uniforme.

La pratique indique qu'il suffit pour avoir de bonnes mesures comme pour un oscillographe à fer doux, que la période propre Θ_0 soit inférieure à $\frac{1}{100}$ de la période T du courant à étudier, avec un degré d'amortissement α au plus égal à l'unité.

III. Oscillographe monofilaire ou a bande de fer doux oscillant dans un champ magnétique.

Nous supposerons, pour ainsi simplifier, que le champ magnétique dans lequel la bande de fer doux a une intensité uniforme ce qui est sensiblement réalisé en pratique.

Équation du mouvement. — L'équation est analogue à celle du bifilaire, sauf en ce que le couple de torsion est augmenté du couple directeur du champ magnétique $\mathcal{H}$. Ce dernier produit sur l'élément dz un couple

$$\psi \mathcal{H} \mathcal{J} bc\, dz$$

sensiblement proportionnel à la déviation ψ supposée infiniment petite et au moment magnétique $\mathcal{J}\, bc\, dz$ de l'élément dz (en appelant $\mathcal{J}$ l'intensité d'aimantation).

Le couple déviant produit par les bobines placées en avant et en arrière et parcourues par le courant étudié i, peut être représenté de même par une expression

$$\Gamma i \mathcal{J} bc\, dz$$

dans laquelle le coefficient Γ est une fonction de z.

L'équation du mouvement peut donc s'écrire

$$-GJ_1 \frac{d^2\psi}{dz^2} + \psi \mathcal{H}\mathcal{J} bc + A \frac{d\psi}{dt} - \rho J \frac{d^2\psi}{dt^2} = \Gamma i \mathcal{J} bc$$

On développerait comme plus haut le second membre en série de séries en posant

$$\Gamma i = \sum \Gamma_m I_n \sin \frac{m\pi}{l} z \sin (n\omega t - \varphi_n).$$

La seule différence résulte de la présence d'un terme en ψ au premier membre, dont l'effet est de remplacer l'expression C_m donnée plus haut par la suivante.

$$C_m = \left(GJ_1 + J \frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{m\pi}{l}\right)^2 + \mathcal{H}\mathcal{J} bc.$$

La période d'oscillation devient donc

$$\Theta_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J\rho}{C}}.$$

d'où

$$N = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{J\rho}}$$

ou

$$\theta_0 = 2l\sqrt{\frac{J\rho}{GJ_1 + J\frac{T}{\sigma} + \left(\frac{l}{\pi}\right)^2 \mathcal{H}\mathfrak{I}bc}}.$$

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{GJ_1 + J\frac{T}{\sigma} + \left(\frac{l}{\pi}\right)^2 \mathcal{H}\mathfrak{I}bc}{J\rho}} = \frac{1}{2l\sqrt{\rho}}\sqrt{G\mu'\left(\frac{2bc}{b^2+c^2}\right)^2 + \frac{T}{\sigma} + 12\left(\frac{l}{\pi}\right)^2 \frac{\mathcal{H}\mathfrak{I}}{b^2+c^2}}$$

Le nombre de vibrations peut donc s'exprimer en fonction des nombres de vibrations N', N'', N''' que donneraient séparément la torsion seule, la tension seule, et l'aimantation seule, par la formule

$$N = \sqrt{N'^2 + N''^2 + N'''^2}$$

avec

$$N' = \frac{bc}{(b^2+c^2)l}\sqrt{G\mu'\frac{g}{\varpi}}$$

$$N'' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\sigma}\frac{g}{\varpi}}$$

$$N''' = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{3g}{\varpi}\frac{\mathcal{H}\mathfrak{I}}{b^2+c^2}}.$$

Moyennant ce simple changement les valeurs de tg φ_n et du dénominateur de B_{mn} sont conservées; le numérateur est remplacé par le produit $\Gamma_n\, I_n\, \mathfrak{I}bc$.

Enfin le miroir accroît encore la période propre par suite de son inertie supplémentaire dont l'influence peut se calculer d'une façon analogue à ce qui a été fait pour le bifilaire, au moyen de la formule donnée plus haut pour le bifilaire

$$\left(\frac{\pi l}{2l'}\right) \operatorname{tg}\left(\frac{\pi l}{2l'}\right) = \frac{1}{4lN}$$

et dans laquelle N représentera ici la courbe de vibration qui vient d'être calculé, de la même bande dans le même champ et avec la même tension, mais sans miroir.

Sensibilité. — La sensibilité se mesure encore par l'angle ψ au milieu de la bande pour $m = 1$

$$\psi = \frac{1}{\left(\frac{l}{\pi}\right)^2 C}\int_0^{\frac{l}{2}} dz \int_0^z \Gamma i \mathfrak{I}bc\,dz$$

en posant comme expression du coefficient de torsion d'un élément dz

$$C = \left(GJ_1 + J\frac{T}{\sigma}\right)\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + \mathcal{H}\mathfrak{I}bc.$$

Si l'on suppose Γ constant sur toute la hauteur, on en déduit

$$\frac{\psi}{i} = \frac{\pi^2}{8C}\Gamma\mathfrak{I}bc = \frac{\Gamma\mathfrak{I}bc}{32\,J\rho}\theta_0^2 = \left(\frac{3}{8}\right)\frac{\Gamma\mathfrak{I}\theta_0^2}{\rho(b^2+c^2)}.$$

Si on suppose, au contraire, ce qui est plus près de la vérité, pour les bandes longues,

$$\Gamma = \Gamma_1 \sin\frac{\pi z}{l}$$

on trouve

$$\frac{\psi}{i} = \frac{\Gamma_1 \partial bc}{\left(\frac{l}{\varpi}\right)^2 C} \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{l}{\pi}\left(1 - \cos\frac{\pi z}{l}\right) dz$$

$$= \Gamma_1 \frac{\partial bc\pi^2}{C}\left(\frac{1}{2\pi} - \frac{1}{\pi^2}\right) = \frac{\Gamma_1 \partial bc}{8 J\rho}\left(\frac{\pi-2}{\pi^2}\right)\Theta_0^2$$

$$= 3\left(\frac{\pi-2}{2\pi^2}\right)\frac{\Gamma_1 \partial \Theta_0^2}{\rho(b^2+c^2)}.$$

Valeur inférieure à la moitié de la précédente.

Remarque. — Il est intéressant de comparer ces expressions à celle de l'oscillographe à barreau de fer doux ordinaire donnée plus haut

$$\frac{\theta}{i} = \frac{3\Gamma\partial}{\pi^2\rho}\,\frac{\Theta_0^2}{b^2+c^2} = \frac{\Gamma}{\mathcal{K}} = \frac{\Gamma\Theta_0^2}{J\rho(4\pi^2)}\,\partial bc:$$

car alors Θ_0 se réduit à

$$\Theta_0 = 2\pi\sqrt{\frac{J\rho}{\mathcal{K}\partial bc}}.$$

Le rapport de sensibilité à nombre égal de vibrations est donc compris entre

$$\frac{\psi}{\theta} = \frac{\pi^2}{8}$$

et

$$\frac{\psi}{\theta} = \frac{\pi-2}{2}.$$

La sensibilité paraît donc devoir être en général plus faible avec le nouveau dispositif qu'avec l'ancien, à nombre de vibrations égal, en supposant qu'on pût obtenir cette égalité. Mais en réalité il n'en est rien, parce que l'effet de l'inertie du miroir, dont ces formules ne tiennent pas compte, est beaucoup plus faible avec le dispositif à bande qu'avec le barreau de fer doux; en outre, la saturation de celui-ci ne peut être obtenue qu'en le faisant très petit et le suspendant par une fibre de quartz ou un fil de cocon, dont l'élasticité de torsion a une valeur relative assez grande pour réduire beaucoup la sensibilité.

Du reste le fer doux seul, s'il n'est pas sous forme de bande vibrante, ne permet pas d'atteindre les grands nombres de vibrations obtenus avec la bande [1].

(*A Suivre.*)

A. Blondel.

---

[1] On peut dans une certaine mesure concilier les deux désidérata en collant au milieu de la bande non seulement un miroir, mais encore un petit barreau de fer doux supplémentaire de même section que la bande; l'action de la bobine sur ce petit barreau renforce l'action de la bande, d'où augmentation de sensibilité; mais l'inertie est en même temps accrue, et pratiquement on ne constate pas d'avantage. Ou bien on peut se contenter d'employer une bande *très* mince et très peu tendue, de façon que dans le radical des expressions de N et de C les deux premiers termes soien négligeables devant le troisième. On voit alors que ce dispositif est équivalent à celui du barreau mobile, mais plus simple de construction.

En définitive on est maître de modifier à son gré N et $\frac{\psi}{i}$ par un choix judicieux de la forme et de la tension de la bande vibrante.

A PROPOS DES

RÉGLEMENTATIONS DES ESSAIS DES MACHINES ÉLECTRIQUES

M. V. Kammerer, ingénieur du service électrique de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, nous écrit la lettre suivante en même temps qui nous communique les règles proposées par les Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur ayant un service électrique et par l'Association des Industriels du Nord de la France, règles que nous reproduisons ci-dessous [1].

---

(1) Règles pour les offres, la fourniture et les essais de machines électriques

Désignation de la puissance nominale. § 1. La puissance nominale est la puissance qu'une machine est capable de débiter normalement. Si cette puissance débitée est électrique, elle sera indiquée aux bornes : en kilowatts dans le cas de courants continus, et en kilovolts-ampères dans le cas de courants alternatifs ; si cette puissance est mécanique, elle sera exprimée en chevaux de 75 kgm par seconde.

§ 2. Si, avec la puissance débitée par une génératrice à courants alternatifs, il est donné une indication sur la puissance absorbée en chevaux, cette indication se rapportera à un facteur de puissance correspondant à la destination de la machine, et, sauf convention spéciale, ce facteur sera pris égal à 0,8.

§ 3. Quand une machine ou un appareil présente par lui-même un décalage de phase entre la tension et le courant, comme par exemple les moteurs d'induction, ce facteur de puissance est à indiquer au moins pour la pleine charge.

Limitation de la puissance nominale. § 4. La puissance nominale est limitée par : 1° *L'échauffement*. — 2° *L'auto-régulation*. — 8° *Le rendement*. — 4° *Les surcharges*.

Échauffement. § 5. L'échauffement d'une machine électrique doit être avant tout compatible avec la conservation en parfait état de l'isolant.

§ 6. Les limites maxima admises pour la surélévation de température mesurées dans les conditions et après une durée d'essai spécifiées dans les paragraphes suivants sont :

a. Pour les circuits électriques ainsi que pour les bagues et collecteurs isolés au carton (l'isolement au carton n'est admis que pour les tensions inférieures à 100 volts) . . . . 40°

b. Pour les collecteurs et les bagues isolés au mica ou ses dérivés, et les balais . . . . 50°

c. Pour les circuits toujours fermés sur eux-mêmes . . . . 55°

d. Pour les paliers, bornes, connexions, etc. . . . . 35°

e. Pour le fer dans lequel seront noyés des conducteurs électriques isolés . . . . 40°

Pour les machines à collecteur destinées à un service continu de jour et de nuit, ces limites seront abaissées de . . . . 5°

§ 7. Ces limites d'échauffement supposent une température ambiante ne dépassant pas 35°. Si la température ambiante varie pendant la durée de l'essai, on prendra comme valeur la moyenne du dernier quart de l'essai ; le thermomètre indiquant cette température ambiante sera placé à hauteur de l'axe de la machine.

§ 8. Les machines en essai seront autant que possible dans les conditions normales de fonctionnement et de ventilation.

Cependant, dans le cas d'alternateurs et de moteurs synchrones, la charge pourra être réalisée en kilovolts-ampères avec un facteur de puissance quelconque pouvant varier de 1 à 0,5, et dans tous les cas les circuits inducteurs et l'excitatrice devront y suffire en restant dans les limites d'échauffement ci-dessus.

§ 9. Sauf spécifications contraires, la durée de l'essai à pleine charge après laquelle on mesurera la surélévation de température sera déterminée pour les machines par le tableau ci-après :

$K = \left(\frac{\text{volts - ampères}}{\text{tours par minute}}\right)$	Durée de l'essai.
0 à 5	3 heures.
5 à 10	4 »
10 à 30	5 »
30 à 100	6 »
100 à 200	7 »
200 à 300	8 »
300 à 500	9 »
500 à 700	10 »
750 à 1 000	11 »
1 000 et au-dessus	12 »

Mulhouse, 14 août 1903.

C'est avec un vif intérêt que j'ai lu la très intéressante étude comparative de M. Louis Drucbert sur les *Règlementations des essais des machines électriques* (t. XXXVI, p. 84, 18 juillet 1903).

(Pour les machines à collecteur dont le coefficient K est supérieur à 1 500 ou 2 000, il y aura quelquefois lieu de convenir d'une durée d'essai supérieure à 12 heures, suivant la destination de la machine. Pour les machines et moteurs à courants alternatifs de grandes dimensions, une durée d'essai de 12 heures suffira en général.)

§ 10. Pour les transformateurs, la durée de l'essai sera celle du fonctionnement ; on peut ainsi distinguer :

a. Transformateurs à service discontinu (distribution de force de jour) : durée de l'essai en pleine charge égale à la période de fonctionnement ;

b. Transformateurs toujours sous tension et à charge discontinue (distribution d'éclairage) : durée de l'essai en pleine charge égale à la période de fonctionnement en charge, après limite d'échauffement atteinte sous tension ;

c. Transformateurs à charge continue : durée de l'essai jusqu'à obtention de l'échauffement limite en pleine charge.

§ 11. La température des enroulements sera déterminée autant que possible par augmentation de résistance et par application du thermomètre : on prendra toujours la plus élevée des valeurs trouvées. Pour déduire la surélévation de température de la différence de résistance, on ramènera les résistances mesurées à 0°, en admettant comme coefficient de température la valeur constante de 0,004.

Auto-régulation. § 12. Le coefficient de régularité de tension et de vitesse est défini par le rapport des variations de tension ou de vitesse aux tensions et vitesses à pleine charge.

§ 13. La variation de tension pour les génératrices sera obtenue en passant de la marche à pleine charge à la marche à vide, à vitesse constante :

a. Pour les machines auto-excitatrices à courant continu en maintenant constante la résistance dans le circuit inducteur dérivé ;

b. Pour les génératrices à courant continu à excitation séparée et pour les génératrices à courants alternatifs en maintenant constant le courant d'excitation.

Pour les machines à courant continu, la position des balais sera maintenue fixe et à la position de la pleine charge, à moins de conventions contraires.

§ 14. La variation de vitesse pour les réceptrices s'obtiendra de même en passant de la marche en charge à la marche à vide en maintenant constantes aux bornes : la tension pour le courant continu, et pour les courants alternatifs la tension et la fréquence. Pour les moteurs d'induction, l'indication du coefficient de régularité est souvent remplacée par celle du glissement, qui en diffère légèrement, et se définit par le rapport de la variation de vitesse à la vitesse du synchronisme.

§ 15. Pour les transformateurs, le coefficient de régularité s'obtiendra en passant de la pleine charge à charge nulle au secondaire à fréquence et tension constantes au primaire.

§. 16. Pour les commutatrices et moteurs-générateurs, on fera varier la charge débitée de la valeur nominale à 0, en maintenant tension et fréquence constantes aux bornes réceptrices.

§ 17. Pour les génératrices à courants alternatifs et les transformateurs, la variation de tension sera spécifiée pour la puissance nominale (en KVA) :

a. Avec un facteur de puissance égal à l'unité ;

b. Avec un facteur de puissance correspondant à la destination de l'appareil, et, sauf conventions spéciales, ce facteur sera pris égal à 0,8.

§ 18. Pour les génératrices et les transformateurs, la variation de tension sera spécifiée par le constructeur : dans le cas où cette spécification ferait défaut, on admettra comme limite raisonnable (sauf quelques cas spéciaux, tels que les machines d'électrométallurgie) :

a. Pour les génératrices à courant continu excitées en dérivation, de 8 à 12 p. 100 suivant les dimensions de la machine.

b. Pour les génératrices à courants alternatifs, 6 p. 100 dans le cas de facteur de puissance égal à l'unité, 20 p. 100 dans le cas de facteur de puissance = 0,8 (pour des puissances supérieures à 50 kilowatts ou 50 kilovolts-ampères).

c. Pour les transformateurs, 1, 5 et 5 p. 100 (pour des puissances supérieures à 20 kilovolts-ampères), dans les mêmes conditions que ci-dessus (sous *b*) ; dans ce dernier cas, on pourra appliquer pour la mesure soit la méthode indirecte dite du court-circuit.

Rendement. § 19. Le rendement d'un appareil est le rapport : $\frac{\text{Puissance utilisable}}{\text{Puissance absorbée}}$: ceci est le rendement industriel ou simplement rendement qui peut encore se définir par les rapports : $\frac{\text{Puissance utilisable}}{\text{Puissance utilisable} + \text{pertes totales}}$,

ou : $\frac{\text{Puissance absorbée} - \text{pertes totales}}{\text{Puissance absorbée}}$.

L'auteur rend à juste titre hommage à l'American Institute of Electrical Engineers et au Verband deutscher Elektrotechniker ; mais il me semble bon de rappeler que des électriciens français ont reconnu également à la même époque toute l'importance de cette question et ont cherché à établir des règles analogues.

Il y a en effet déjà deux ans que les ingénieurs électriciens de plusieurs Associations françaises

---

Nous appellerons rendement électrique la valeur définie par le rapport : $\frac{\text{Puissance utilisable}}{\text{Puissance utilisable} + \text{pertes électriques}}$.

§. 20. Ces définitions montrent que le rendement peut être déterminé de deux façons : soit directement par la mesure des puissances utilisable et absorbée, soit indirectement par la mesure d'une de ces puissances et des pertes.

Les méthodes indirectes sont plus faciles à réaliser et les erreurs influencent moins les résultats : en général, leur emploi est donc préférable. Cependant, il est à remarquer que les pertes (indiquées § 22) ne sont pas intégralement mesurables, il y a donc lieu de distinguer pour chacun des rendements industriel et électrique le rendement vrai défini § 19 et le rendement mesurable qui sera défini.

a. Rendement industriel mesurable $= \frac{\text{Puissance utilisable}}{\text{Puissance utilisable} + \text{pertes totales mesurables}}$.

b. Rendement électrique mesurable $= \frac{\text{Puissance utilisable}}{\text{Puissance utilisable} + \text{pertes électriques mesurables}}$.

§ 21. Toute spécification de rendement devra se rapporter à une au moins des définitions précédentes, à savoir : *Rendement industriel ; — Rendement industriel mesurable ; — Rendement électrique ; — Rendement électrique mesurable :* et s'adapter aux conditions possibles de l'essai. Dans ce but également, le constructeur donnera le détail des différentes pertes, au moins pour les machines directement accouplées.

§ 22. Ces pertes se décomposent comme suit :

Pertes mécaniques : a. Frottement des paliers et ventilation ;

b. Frottement des balais sur les collecteurs et bagues.

Pertes électriques : c. Hystérésis et courants de Foucault ;

d. Effet Joule dans tous les enroulements (à détailler : excitation, induit, enroulements primaire et secondaire) ;

e. Résistance de contact des balais.

§ 23. Les chiffres donnés pour le rendement s'entendent, sauf indications contraires, pour la pleine charge, et en y comprenant les pertes dues aux appareils auxiliaires, tels que : rhéostat, excitatrice, ventilateurs, etc. (Dans le cas où ces appareils auxiliaires auraient en plus une autre destination, on imputera à la machine considérée sa part proportionnelle de puissance absorbée par l'appareil auxiliaire, ou on indiquera séparément les rendements de la machine principale et des appareils auxiliaires).

Pour les génératrices à courants alternatifs, le rendement sera indiqué à la pleine charge en kilovolts-ampères :

a. Avec un facteur de puissance égal à l'unité ;

b. Avec un facteur de puissance égal à 0,8.

§ 24. Il est entendu que les mesures devront être faites ou ramenées à la température atteinte après le fonctionnement défini § 9.

De même, la détermination des pertes à vide se fera à la vitesse constante de régime et à la tension normale augmentée ou diminuée de la perte ohmique ; pour les machines à collecteur, la position des balais ne différera de la position à pleine charge que dans la mesure nécessaire pour éviter les étincelles.

Surcharges. § 26. Toute machine doit pouvoir supporter sans détérioration (et sans étincelles nuisibles pour les machines à collecteur) une surcharge de puissance de :

a. 25 0/0 pendant une demi-heure, pour toutes les machines (génératrices, moteurs et transformateurs) ;

b. 50 p. 100 pendant cinq minutes pour tous les moteurs et les transformateurs.

Ces surcharges seront fournies après l'essai en pleine charge défini § 8 ou à la température atteinte après cet essai.

§ 27. Pour toutes génératrices à courants continu ou alternatifs, il devra être possible de maintenir la tension de régime pendant toute la durée de la surcharge, à la vitesse normale.

Pour les alternateurs, cette surcharge s'entend en kilovolts-ampères avec facteur de puissance = 0,8, l'excitatrice devra pouvoir y suffire.

§ 28. En plus des surcharges de puissances spécifiées ci-dessus, les machines devront pouvoir supporter un surcroît de vitesse qui, pour les génératrices, sera à fixer dans chaque cas en tenant compte du mode de commande.

Les moteurs à courant continu suppporteront pendant 5 minutes une vitesse double de la normale.

Isolement. § 29. Les machines d'une tension inférieure à 500 volts devront présenter une résistance d'isolement au moins égale à R = 4000 E (R étant exprimé en ohms et E étant la tension normale en volts).

A partir de 500 volts, toutes les machines auront au moins une résistance d'isolement de 2 mégohms. Cette condition doit être remplie, à chaud, aussi bien chez le constructeur qu'après la mise en route.

Essais de surtension. § 30. — Toutes les machines et les transformateurs devront pouvoir supporter pendant 15 minutes l'application d'une tension d'essai donnée par le tableau suivant :

de propriétaires d'appareils à vapeur et d'industriels discutèrent et rédigèrent dans leur réunion annuelle un projet de réglementation des essais de machines. Après une mise à l'essai d'une année les mêmes ingénieurs apportèrent, lors de leur réunion de 1902 quelques modifications à la première rédaction; c'est cette édition modifiée que je prends la liberté de vous adresser, Monsieur le Directeur, en vous priant de bien vouloir lui donner l'hospitalité dans votre estimable revue,

Quoique n'ayant jusqu'à présent aucun caractère officiel ni définitif, la publication de ces règles est susceptible, à mon avis, de présenter un certain intérêt, tant à titre documentaire que parce que depuis leurs deux années d'existence elles ont déjà servi de base à de nombreux marchés.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'assurance de ma considération très distinguée.

V. Kammerer.

Tension normale.	Tension d'essai.
Jusqu'à 3000 volts	le double de la tension normale (minimum 100 volts).
» 4 000 »	7 500 volts
» 5 000 »	8 800 »
» 6 000 »	10 200 »
» 7 000 »	11 700 »
» 8 000 »	13 300 »
» 9 000 »	14 800 »
» 10 000 »	16 300 »
» 12 000 »	19 300 »
» 15 000 »	24 000 »
» 20 000 »	31 000 »
» 25 000 »	38 000 »
» 30 000 »	45 000 »

(Les valeurs de ce tableau ont été déterminées (à partir de 5 000 volts) par la condition que les distances explosives des tensions d'essai soient doubles de celles des tensions de régime).

La tension d'essai (autant que possible de même nature que le courant de la machine) sera appliquée entre les enroulements et la masse et entre les enroulements qui ne sont pas en relation électrique (Quand un point de l'enroulement est relié en permanence au bâti, cette connexion devra naturellement être défaite pour l'essai, mais la tension d'essai se calculera dans ce cas d'après la tension maxima qui peut exister entre un point de l'enroulement et la masse). En outre, pour éprouver l'isolation intérieure des enroulements, les machines et transformateurs devront pouvoir produire ou absorber pendant 5 minutes les tensions d'essai ci-dessus, si toutefois d'autres raisons, telles que trop grande vitesse à appliquer ou courant trop fort absorbé, ne s'y opposent pas. L'essai de surtension ne sera exigé qu'à la réception, mais pourra être fait à chaud ou à froid.

Détails de construction. § 31. Sauf indications contraires, toutes les machines seront munies de paliers graisseurs automatiques, tels que ceux à bagues ou à chaînes, avec indicateur de niveau d'huile. Pour les machines à collecteur fonctionnant sous une tension supérieure à 100 volts, les frotteurs seront constitués par les blocs de charbon et l'isolement des lames du collecteur par une substance non hygrométrique et incombustible.

Les moteurs d'induction à bagues, sauf exception pour les moteurs à démarrages fréquents et à réglage de vitesse (tels que grues, ponts roulants, etc.), seront munis d'un dispositif permettant de mettre l'enroulement secondaire en court circuit et de relever les balais.

Tolérances pour les garanties. § 32. Comme sanction aux diverses garanties données, il est d'usage de fixer deux limites dont la première représente la tolérance accordée pour tenir compte des inexactitudes et erreurs de mesures, et dont la seconde donne à l'acheteur le droit de refuser le matériel. Entre les deux limites, on convient généralement d'une pénalité proportionnelle à l'écart.

§ 33. Les valeurs suivantes sont à recommander pour les limites mentionnées ci-dessus :

Garantie :	Tolérances pour les mesures.	Limites de refus.
d'échauffement	4° C. au-dessus des limites fixées au § 6 pour les mesures par résistance seulement	10° C. au-dessus des limites du p. § 6.
de chute de tension	10 p. 100 du pourcentage garanti par le constructeur.	40 p. 100 du pourcentage garanti.
de rendement	10 p. 100 de la somme des pertes totales ou mesurables, suivant le cas	40 p. 100 des pertes totales ou mesurables.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS

Diagramme rigoureux du moteur asynchrone polyphasé, par **Th. Lehmann**.

Quelques erreurs typographiques sont restées dans l'article publié sous ce titre dans le précédent numéro :

Page 283, dans les expressions de tang ξ, J_1, J_2, l'impédance μ' doit figurer au *numérateur* (et non au dénominateur) des termes diviseurs ; ainsi :

$$\text{tang } \xi = \frac{\Delta \cos \delta}{\mu' \dfrac{r_2}{L_2 (\omega_1 - \omega_2)} + \Delta \sin \delta}$$

Page 288, ligne 16, au lieu de $\omega_2 = \omega_1$, lire $\omega_2 = 0$;

Page 288, avant-dernière formule, au lieu de $P_u = (t - g)\, \omega_1 C_u$, lire

$$P_u = (1 - g)\, \omega_1 C_u ;$$

Page 289, la quantité d'énergie transformée en chaleur dans le rotor doit s'écrire

$$\frac{\mathfrak{P}}{2} \frac{p''}{2} J_2{}^2 r_2 + g\omega_1 C''_{fc} = \Delta P'' ;$$

Page 291, dans les parenthèses de l'avant-dernière ligne, au lieu de P_{2c}, lire P_c ;

Page 295, dans la dernière égalité, au lieu de $C\omega_1$, lire $C_0\omega_1$.

TÉLÉGRAPHIE

Propriétés électriques et oscillations propres des bobines avec appendices, fils rectilignes ou plaques, par **P. Drude**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 957-996, juillet 1903.

I. Bobines avec appendices rectilignes (antennes). — La variation de la période propre d'une bobine produite par deux fils rectilignes d'égale longueur attachés aux extrémités de la bobine dépend des paramètres qui déterminent la période de la bobine, et de la longueur du diamètre et de la nature de l'isolant des fils [1].

Le coefficient β est caractéristique du système, c'est-à-dire qu'il dépend des paramètres caractéristiques de la bobine et des fils. C'est de ce coefficient que dépendent les variations de l'amplitude de l'intensité et du potentiel quand les ondes électriques passent de la bobine au fil ou inversement.

En appelant T_0 la période propre de la bobine sans antenne, $\lambda_0 = cT_0$, $\lambda'_0 = c'T_0$ les longueurs d'onde correspondantes, on a :

$$\text{tg} \frac{\pi}{2} \frac{\lambda'_0}{\lambda'} \text{tg } 2\pi \frac{l}{\lambda_0} = \text{tg} \frac{\pi}{2} \frac{\lambda_0}{\lambda} \text{tg } 2\pi \frac{l}{\lambda} =$$

$$\text{cotg} \frac{\pi}{2} \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda} \text{tg } 2\pi \frac{l}{\lambda} = \beta. \quad (7)$$

La longueur d'onde λ_0 se calcule en fonction

---

(1) Soit une bobine de pas uniforme, dont la longueur soit $2a$. On prend pour origine le milieu de la bobine, son axe pour axe des z. A partir des points $z = \pm a$, la bobine se continue par des fils rectilignes, jusqu'aux points $z = \pm b$: la longueur de ces fils ou antennes est donc $b - a$. Des ondes électriques non amorties se propagent dans la direction de l'axe des z avec la vitesse c'. L'intensité pourra être représentée par :

$$i' = A' \sin 2\pi \frac{t}{T} \cos 2\pi \frac{z}{\lambda'} \qquad (\lambda' = c'T) \qquad (1)$$

On admettra, qu'on a de même dans l'antenne, dans la direction des z positifs.

$$i = A \sin 2\pi \frac{t}{T} \cos 2\pi \frac{z}{\lambda} \qquad (\lambda = cT) \qquad (2)$$

Les vitesses c et c' ne sont constantes que si le produit de la capacité et de l'induction propre rapportées à l'unité de longueur est indépendant de z : cette condition n'est remplie que d'une manière approximative.

Dans un fil de faible diamètre, entouré par l'air, la vitesse c est égale à la vitesse de propagation de la lumière, $c = 3.10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.; $\frac{1}{2} c\, T = l$, en désignant par l la longueur du fil.

Soient e, la charge du fil, γ sa capacité rapportées à l'unité de longueur, V, le potentiel au point z, on a d'une manière générale :

$$-\frac{di'}{dz} = \frac{de'}{dt} \qquad -\frac{di}{dz} = \frac{de}{dt} \qquad (3)$$

$$e' = \gamma' V' \qquad e = \gamma V. \qquad (4)$$

et par conséquent :

$$V' = -\frac{A'}{\gamma'} \frac{T}{\lambda'} \cos 2\pi \frac{t}{T} \sin 2\pi \frac{z}{\lambda'} \qquad (5)$$

$$V = -\frac{A}{\gamma} \frac{T}{\lambda} \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos 2\pi \frac{b - z}{\lambda} \qquad (6)$$

D'après la forme des équations (1) et (2), il existe au point $z = 0$ un nœud de potentiel ($aV' = 0$), au point $z = b$, un nœud d'intensité ($i = 0$). Les autres conditions aux limites sont :

$$i = i' \text{ pour } z = a$$
$$V = V' \qquad \text{id.}$$

En remarquant que $b - a = l$, on déduit des équations (1), (2), (5) et (6).

$$\text{tg } 2\pi \frac{a}{\lambda'} \text{tg } 2\pi \frac{l}{\lambda} = \frac{\gamma'\lambda'}{\gamma\lambda} = \frac{c'\gamma'}{c\gamma} = \beta$$

des paramètres de la bobine par la méthode qui a été indiquée dans un mémoire précédent [1]; en mesurant λ par l'expérience, on pourra calculer β; pour abréger on appellera β le *coefficient de transmission.*

Le coefficient β dépend des caractéristiques de la bobine et du rapport $\frac{l}{\rho}$ de la longueur de l'antenne à son diamètre. Si ce rapport est assez grand, β en dépend seulement par l'intermédiaire de γ. Pour un fil mince et isolé

$$\gamma = \frac{1}{2 \log \text{nat} \frac{l}{\rho}}.$$

Mais les antennes portent des charges de signes contraires et quand elles sont courtes, leur capacité est plus grande que ne l'indique cette formule. D'autre part, les surfaces terminales de la bobine jouent le rôle d'écran vis-à-vis des portions de l'antenne qui les avoisinent. Cet effet d'écran, d'autant plus prononcé que les antennes sont plus courtes tend à diminuer leur capacité.

En posant :

$$\beta = \beta' \log \text{nat} \frac{l}{\rho}$$

β' ne dépendra plus que de la bobine.

Effectivement pour :

$l : \frac{\lambda}{2} > 0{,}06$, β' ne dépend très sensiblement que de la bobine.

$l : \frac{\lambda}{2} < 0{,}06$, β' est d'autant plus grand que l est plus petit (effet d'écran).

$l : \frac{\lambda}{2} > 0{,}25$, β' décroît un peu quand l augmente (effet des charges de signes contraires sur les deux antennes).

En adoptant les mêmes notations que dans le mémoire précédent : on trouve par l'expérience que :

$$\beta' = \frac{f}{n}\sqrt{\frac{h}{2r}}\,\varphi\left(\frac{h}{2r}\cdot\frac{g}{\delta'}\right)$$

φ étant une fonction qui varie très peu avec $\frac{h}{2r}$ et pas beaucoup avec $\frac{g}{\delta}$. Quand n, $\frac{h}{2r}$, $\frac{g}{\delta}$, restent constants, β' doit être proportionnel à f, d'où :

$$v = \frac{\lambda'_0}{T_0} = \frac{2h}{T_0} = \frac{4a}{T_0}$$

et par suite :

$$\beta = \frac{4a}{cT_0}\frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{4a}{\lambda_0}\frac{\gamma'}{\gamma}$$

Si on compare deux bobines identiques, sauf la carcasse et le milieu ambiant, elles ne diffèrent au point de vue analytique que par γ'. Mais d'après la formule de Kirchhoff-Thomson, γ' est proportionnel à λ_0^2, donc p est proportionnel à λ_0 et par conséquent à f. La formule (7) donne donc la période propre de la bobine munie d'une antenne [1].

Cette bobine possède donc deux systèmes comprenant chacun une vibration fondamentale et des vibrations supérieures. L'une des vibrations fondamentales dépend surtout de λ_0, l'autre de λ. Elles deviennent identiques quand $l = \frac{\lambda_0}{4}$.

Dans ce qui va suivre, il s'agira seulement de la vibration la plus lente : elle est la plus intense et de beaucoup la plus importante dans les applications à la télégraphie hertzienne [2].

La demi-longueur d'onde pour un fil rectiligne est en général de 5 p. 100 supérieure à la longueur du fil, tandis qu'en prenant deux fils parallèles, on trouve qu'il y a égalité entre les deux, comme le demande la théorie. Cet écart n'est dû à l'influence de l'amortissement, mais bien plutôt à l'accroissement de capacité du fil résultant de la présence des conducteurs environnants. C'est en effet ce qu'on vérifie par

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 366, mars 1903.

(1) Lorsque $\frac{l}{\lambda_0}$ est petit vis-à-vis de 1, on a simplement :

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{4l}{\beta}.$$

Si au contraire $\frac{l}{\lambda_0}$ est très grand vis-à-vis de 1,

$$\lambda = 4l + \frac{\lambda_0}{\beta}.$$

Dans les cas intermédiaires, il faut résoudre l'équation transcendante par tâtonnements ou par la méthode graphique.

(2) Une erreur commise dans la détermination de β n'entraine en général qu'une erreur très faible sur la période propre : l'erreur relative sur λ est plus petite que l'erreur relative sur β.

l'expérience, en approchant du fil des conducteurs dont la longueur est notable.

En général β' est plus constant que β et cette constance doit être plus grande encore dans les expériences faites avec des appareils de grandes dimensions (dans les expériences dont il s'agit ici, la longueur de l'antenne ne dépassait pas 5 m).

Une antenne recouverte d'un isolant donne une longueur d'onde un peu plus grande qu'une antenne nue de mêmes dimensions. Par suite les coefficients β et β' sont plus petits.

II. Bobines avec antenne multiple. — Il est à prévoir qu'une antenne multiple agira comme une antenne simple dont le rayon $\bar{\rho}$ serait plus grand que celui de chacun des fils qui compose l'antenne multiple. Ce rayon équivalent $\bar{\rho}$ doit dépendre de la section moyenne de l'antenne et aussi du nombre et de la grosseur des fils.

Le rayon équivalent d'une antenne multiple en forme de cylindre est indépendant de la longueur de cette antenne et de la bobine à laquelle elle est reliée, il croît avec le nombre des fils et est un peu plus petit que celui du cylindre.

Si l'antenne multiple forme un cône, le rayon équivalent est encore indépendant de la bobine et à peu près indépendant de la longueur : il est environ la moitié de celui de l'antenne cylindrique de même rayon de base [1].

Antennes hétérogènes. — Les antennes hétérogènes c'est-à-dire en partie simples, en partie multiples, donnent des ondes moins intenses que les antennes simples, par suite des réflexions qui se produisent aux points où l'antenne change brusquement de propriétés.

III. Substitution a l'une des moitiés de l'antenne d'une capacité reliée a la bobine. — Le cas le plus important est celui où la capacité est reliée à l'extrémité de la bobine. Il s'agit de calculer quelle doit être cette capacité pour donner les mêmes résultats que la demi-antenne qu'elle remplace [2].

A très peu près des plaques carrée et circulaire de même surface s'équivalent.

Pour les petites valeurs de l'', $l - l''$ est plus grand que pour les grandes; mais à partir d'une certaine valeur de l'', la longueur $l - l''$ équivalente à une capacité c devient constante. Quand l'' est très petit, $l - l''$ dépend aussi de sa position par rapport à la bobine.

---

[1] Ce rayon de base est celui de la planchette qui sert à fixer les fils et à régler leur écartement, un peu audessus du point où ils sont réunis ensemble et reliés à la bobine.

[2] L'intensité dans l'antenne inférieure est :

$$i'' = A'' \sin 2\pi \frac{t}{T} \sin 2\pi \frac{b+z}{\lambda}$$

le potentiel :

$$V'' = \frac{A''}{\gamma} \frac{T}{\lambda} \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos 2\pi \frac{b+z}{\lambda}.$$

Pour $z = -d$ (d, ordonnée du point d'attache de la capacité à la bobine).

$$i'' = -C \frac{dV''}{dt}$$

C étant la capacité : d'où,

$$\sin 2\pi \frac{b-d}{\lambda} = \frac{2\pi C}{\lambda\gamma} \cos 2\pi \frac{b-d}{\lambda}$$

ou bien :

$$C = \frac{\lambda\gamma}{2\pi} \operatorname{tg} 2\pi \frac{l-l''}{\lambda}$$

si on appelle l'' la longueur du fil rectiligne reliant la capacité à l'extrémité de la bobine,

Si $l - l''$ est petit vis-à-vis de λ,

$$C = \gamma(l - l'')$$

c'est-à-dire égal à la capacité de la longueur d'antenne qu'il remplace. Approximativement :

$$C = \gamma(l-l'')\left[1 + \frac{1}{3}\left(2\pi \frac{l-l''}{\lambda}\right)^2\right]$$

tant que le deuxième terme entre crochets est petit vis-à-vis de 1.

D'une manière générale,

$$\alpha = \frac{\alpha}{2 \log \text{nat} \frac{l}{\rho}},$$

α étant un coefficient peu différent de 1. En unités électrostatiques :

$$C = \frac{\alpha}{2 \log \text{nat} \frac{l}{\rho}} (l - l'')\left[1 + \frac{1}{3}\left(2\pi \frac{l-l''}{\lambda}\right)^2\right]$$

Si la capacité est formée par une sphère de rayon R, ou par un disque de rayon R et d'épaisseur d (mais supposés très éloignés de tout autre conducteur),

$$C = R$$

ou

$$C = \frac{2R}{\pi}\left(1 + \pi \frac{D}{R}\right)$$

La longueur d'onde λ est plus petite quand la plaque est perpendiculaire à l'axe de la bobine, que si elle lui est parallèle. Cette variation est due aux courants de Foucault induits dans la plaque par les lignes de force de la bobine.

Le facteur α ne dépend ni de la bobine, ni de la grosseur de l'antenne. Quand l'' est grand, α ne dépend pas non plus de la forme du conducteur : autrement il est plus grand pour une sphère que pour une plaque de même capacité.

Quand l'une des extrémités seulement de la bobine est reliée à une antenne, un tube vide s'illumine vivement auprès de l'extrémité libre, très peu au contraire auprès de l'antenne elle-même. Il y a donc grand avantage à compenser l'antenne unique, par une capacité reliée à l'autre extrémité de la bobine. C'est la supériorité du dispositif de Braun sur celui de Slaby.

IV. Transmission et réflexion des ondes électriques a l'extrémité commune de la bobine et de l'antenne. — Quand le coefficient de transmission β est petit, l'onde se propageant dans le fil est presque totalement réfléchie à l'extrémité de la bobine, avec changement de signe du courant : l'amplitude du courant pénétrant dans la bobine est très faible : cette dernière forme étouffoir.

L'onde qui se propage dans la bobine est réfléchie presque totalement à l'extrémité, sans changement de signe : l'amplitude du courant pénétrant dans le fil est à peu près le double de l'amplitude incidente.

L'effet d'étouffement de la bobine est d'autant plus grand que les spires sont plus serrées et que son rayon diffère moins du rayon de l'antenne.

Quand β est > 1, l'amplitude de potentiel est plus grande à l'extrémité de l'antenne qu'elle ne serait à l'extrémité de la bobine sans antenne, elle est plus petite quand β est < 1. Mais dans ce dernier cas même, l'emploi de grosses antennes et d'antennes multiples est avantageux, parce qu'elles augmentent, les dernières surtout, la quantité d'énergie rayonnée. M. L.

DIVERS

Représentation des lignes de force et, en particulier, de leur déviation par les diélectriques, par **M. Seddig**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 815-842, juillet 1903.

La méthode consiste à placer, dans une capsule remplie d'un liquide isolant dans lequel sont en suspension de fines poussières isolantes, deux électrodes reliées aux pôles d'une machine électrique, en contact avec le fond de la capsule.

Les grains de poussière en suspension s'orientent dans la direction des lignes de force et se déposent en petits amas dessinant ces lignes.

Procédé expérimental. — Le liquide isolant qui donne les meilleurs résultats est l'essence de térébenthine absolument pure et anhydre.

Comme poudre isolante, il n'y a guère que la poudre de bois, le sulfate de quinine, la glycine [1]; cette dernière, en particulier, donne des lignes très uniformes, tandis que les autres se rassemblent de préférence vers les pôles.

Pour préparer l'émulsion, on remue soigneusement dans un verre 0,5 gr environ de poudre dans 100 cm³ d'essence; elle doit paraître à la fin légèrement trouble. Puis, en agitant, on verse le tout en une fois dans la capsule destinée à l'expérience. La préparation est terminée quand le liquide surnageant est devenu clair.

Il est essentiel d'éviter toute agitation et, par suite, de disposer la capsule sur un support très stable; il faut éloigner aussi tous les conducteurs dont la puissance produirait une perturbation dans la répartition des lignes de force.

Pour obtenir des lignes continues, il faut faire tourner la machine électrique très lentement, afin de diminuer les courants de convection, qu'il est d'ailleurs impossible de supprimer. L'intensité du courant devant être très faible, il suffit d'une petite machine. On peut aussi produire le champ en reliant les électrodes aux pôles d'une batterie de Leyde.

La hauteur du liquide à verser dans la capsule dépend des dimensions de celle-ci; elle varie de 0,5 à 2 cm. La substance de la capsule doit avoir la conductibilité et le pouvoir inducteur le plus faible possible. On obtient de bons résultats avec des cuvettes préparées en collant à la gomme laque un anneau de verre sur une lame d'ébonite, ou encore faites d'une feuille mince dont on a relevé les bords.

---

[1] Sorte de révélateur photographique usité en Allemagne.

Les électrodes sont des fils de cuivre de 1 à 2 mm de diamètre.

Pour obtenir les lignes de force d'un condensateur, on prend des bandes de métal de 5 à 10 cm de longueur et 3 cm de largeur, plongées de champ dans l'émulsion.

Cette méthode permet de montrer : la répartition des lignes de force, entre deux sphères et entre les deux armatures d'un condensateur; la déviation, dans ce dernier cas, des lignes de force par un conducteur placé latéralement; un champ produit par un anneau conducteur entre les deux armatures d'un condensateur, la déviation par l'anneau et l'effet d'écran de celui-ci ; le même champ avec un anneau d'ébonite, qui ne produit aucun effet d'écran; la déviation produite par un diélectrique de pouvoir inducteur différent de celui du milieu ambiant; la réfraction des lignes de force.

Une autre méthode consiste à employer de la poussière de charbon de bois en suspension dans la paraffine fondue : environ 0,5 à 0,75 gr dans 100 cm^3 de paraffine. On verse la paraffine sur une lame de verre horizontale chauffée en son milieu; elle se solidifie sur les bords; dans le milieu, elle reste fondue sur une épaisseur de 3 à 4 mm. En se solidifiant, la paraffine fixe le schéma des lignes de force. Ces schémas sont transparents et peuvent être facilement projetés; il est aisé aussi de les reproduire par la photographie.

Il est possible d'obtenir une image des lignes de niveau en disposant dans l'air des poudres isolantes. Ces dessins proviennent des différences de pouvoir inducteur entre le support, l'air et les grains de sable; ils sont produits par le vent électrique, d'une manière analogue aux figures de Kundt.

M. L.

Complément au mémoire : « Sur la propagation des ondes magnétiques dans les cylindres de fer », par **J. Zenneck**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 867-872, juillet 1903 [1].

L'auteur compare les calculs qui font l'objet de son mémoire à ceux qui ont été donnés auparavant par J.-J. Thomson. Thomson suppose seulement que la perméabilité magnétique du cylindre est constante, tandis que M. Zenneck applique les équations dont on ne peut démontrer l'exactitude que pour les circuits magnétiques fermés.

Il a considéré deux cas limites, caractérisés par la valeur de χ : χ petit vis-à-vis de 1 ou grand vis-à-vis de 1. Dans le premier cas, Thomson néglige les termes de l'ordre de χ^2, vis-à-vis de l'unité, Zenneck seulement ceux de l'ordre de χ^4.

Dans le deuxième cas, il faut, pour identifier les résultats, poser

$$c_m = \frac{1}{\log\left(g^2 \frac{\sqrt{\mu}}{\chi\sqrt{2}}\right)} \qquad (1)$$

(g = constante de Gauss = 0,577; μ perméabilité du cylindre relative à l'air).

Le calcul de Thomson a l'avantage de donner l'expression de c_m, dont dépendent les fuites magnétiques; par contre, s'il s'agit non d'un seul cylindre, mais d'un faisceau de fils, le calcul rigoureux devient impossible.

Dans l'expression (1) $\chi\sqrt{2}$ est le rapport de l'impédance à la résistance. Les fuites sont donc d'autant plus grandes que l'impédance magnétique du noyau de fer est plus grande. Ceci est général pour les circuits fermés; il y a lieu de supposer que cette proposition s'étend à tous les cas.

M. L.

Variation de volume des gaz sous l'influence de la polarisation diélectrique, par **R. Gans**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 797-815, juillet 1903.

Cette variation de volume a fait l'objet des expériences de Quincke, qui n'a pu mettre en évidence de variation supérieure aux erreurs expérimentales. M. Lippmann en s'appuyant sur les principes de la thermodynamique et sur le principe de la conservation de l'électricité, trouve que, dans un champ uniforme d'intensité H, un gaz dont la pression est p et le pouvoir inducteur ε éprouve une variation de volume

$$\frac{\Delta v}{v} = -\frac{\varepsilon - 1}{8\pi}\frac{H^2}{p}.$$

Au contraire, Bos, puis Drude, démontrent, en considérant des cycles particuliers, que le gaz ne doit pas changer de volume. Pockels retrouve, par une voie différente, en se basant

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. 149, avril, 1903.

sur les tensions admises par la théorie de Maxwell, la formule de M. Lippmann.

M. Gans donne également deux démonstrations de cette formule. La seconde, utilisant un cycle de transformation convenablement choisi, montre que le résultat différent obtenu par Drude provient de ce qu'il a négligé la pression électrique à la limite du gaz et du vide.

Pour vérifier la formule par l'expérience, M. Gans emploie un condensateur sphérique soigneusement isolé et rempli de gaz bien sec. L'espace compris entre les deux armatures et contenant le gaz communique avec un manomètre formé d'un tube capillaire dans lequel se meut une goutte de toluène. L'autre extrémité du tube capillaire débouche dans un très grand flacon, afin d'atténuer les déplacements dus aux variations de température. En réalité, par suite du frottement capillaire, le déplacement de l'index ne correspond pas à la variation totale de la pression. Cependant, il ne subsiste aucun doute sur l'existence même de la variation, car l'index ne subit aucun déplacement quand la masse de gaz communique avec l'atmosphère.

Au degré de précision que comporte l'expérience, la formule ci-dessus se vérifie.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SYNDICAT DES USINES D'ÉLECTRICITÉ

Congrès du 13 juin 1903 (¹).

Sur le fonctionnement des compteurs électriques. Extraits du rapport de la commission des compteurs, présenté au nom de cette Commission par M. **Rochet**.

Nous avons déjà reproduit dans ces colonnes (²) le rapport présenté sur cette question à l'une des dernières séances du Bureau du Syndicat; le rapport présenté au Congrès en est le développement; en voici quelques extraits :

« La grande majorité des compteurs employés par les stations qui ont répondu au questionnaire appartient à la catégorie des compteurs-moteurs (courants continus et alternatifs).

» La période moyenne de fonctionnement de ces compteurs dans les différentes stations est de trois ans. Les renseignements qui nous sont parvenus au sujet de la fréquence des vérifications en service courant nous montrent qu'elle est assez variable. Un assez grand nombre de stations ne vérifient leurs compteurs que sur la réclamation des abonnés ou lorsqu'elles éprouvent des doutes sur leur exactitude. D'autres, en nombre à peu près égal, les vérifient annuellement. Quelques-unes seulement procèdent à des vérifications plus fréquentes, variant de un mois à un an. En général, ces vérifications sont effectuées à l'aide de voltmètres et ampèremètres apériodiques dans les distributions à courant continu et à l'aide de wattmètres sur le courant alternatif.

» Les aimants des compteurs fabriqués par les meilleures méthodes sont presque parfaitement constants. Mais, dans le compteur ils subissent l'action du champ galvanique créé par l'enroulement en série. Ce champ tend à réduire leur aimantation quand il prend une valeur exagérée par le passage d'un courant notablement supérieur au maximum prévu pour le compteur, particulièrement à la suite d'un court-circuit.

» Les constructeurs se sont parfaitement rendu compte de cette influence, et ils se sont appliqués à soustraire les aimants à l'action du champ des inducteurs soit en leur donnant une direction perpendiculaire à celle de ce champ, soit, comme cela se pratique surtout dans les types allemands, par l'interposition d'une lame de tôle formant écran magnétique. Cette dernière disposition donne d'excellents résultats, ainsi que nous avons pu le constater par nos expériences personnelles.

» L'importante question de l'étanchéité de la

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* du 15 août, p. 279.

(²) *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 151, 25 avril 1903.

fermeture qui laissait si fort à désirer dans les modèles primitifs et qui a été la cause de fréquents retards et arrêts a été résolue depuis quelques années et ne donne plus lieu à observations.

» Nous nous étendrons peu sur les arrêts des compteurs. Il résulte de la présente consultation qu'avec un bon service d'entretien, on peut descendre au-dessous de 2 p. 100 par an.

» Au point de vue de la sensibilité des compteurs-moteurs, les réponses ont été à peu près unamimes à fixer le démarrage de ces appareils entre le 1/100 et le 1/50 de la capacité nominale.

» La dépense d'excitation des compteurs-moteurs se compose de deux parties. L'une dans le circuit dérivé, est constante et indépendante de l'énergie consommée par l'abonné. L'autre, dans le circuit en série, est proportionnelle à la consommation. Elle est donc nulle quand l'abonné ne consomme pas.

» Mais, par contre, il n'y aurait aucun inconvénient pour les stations à consentir une augmentation dans la dépense du circuit en série. Celle-ci étant proportionnelle à la consommation est donc une dépense utile, une dépense payée, si je puis m'exprimer ainsi et qui disparaît lorsque la consommation elle-même disparaît.

» Cependant, la préoccupation qui nous a guidés n'était pas celle-là, et je reconnais qu'elle n'apparaissait pas nettement dans la façon dont nous avons posé la question. Toutefois quelques-uns de nos correspondants l'ont comprise, car ils ont répondu dans le sens que nous y attachions et que je vais préciser.

» Les constructeurs de compteurs-moteurs, dans le but légitime de faciliter leur fabrication, ont établi un type de compteur uniforme pour tous les calibres. L'induit est le même quelle que soit la tension, c'est une simple question de résistance additionnelle. Les ampèretours inducteurs sont constants pour le maximum de charge quel que soit le calibre. En résumé, le couple-moteur est le même sur les compteurs de tous calibres, pour la même fraction du débit maximum.

» Quoique l'usage des compteurs pour distributions à fils multiples se soit assez généralisé, nous n'avons reçu que peu de renseignements détaillés sur le fonctionnement de ces appareils.

» Les compteurs de grande intensité sont assez peu nombreux dans les stations qui ont été consultées. Il en résulte que très peu d'entre elles ont observé l'influence des champs extérieurs créés par les câbles d'amenée et de sortie du courant. Celles qui l'ont observée y remédient en procédant à un étalonnage sur place. En raison du petit nombre de ces appareils, nous ne croyons pas devoir insister outre mesure. Nous signalerons simplement à ceux de nos correspondants que cette question intéresse que la meilleure solution serait d'amener les constructeurs à adopter une disposition astatique de l'organe mobile pour les compteurs de gros calibres à partir du calibre de 500 ampères. Cette disposition a, d'ailleurs, été déjà appliquée par quelques constructeurs.

» Nous passons maintenant aux compteurs de la seconde catégorie, les compteurs d'intensité à champ fixe.

» Nous ne nous étendrons pas aussi longuement sur ces appareils que sur les précédents.

» Suivant que les stations possèdent des types plus ou moins récents, les résultats obtenus sont très différents, en raison des modifications successives dont ils ont été l'objet.

» Une remarque, faite par un certain nombre de stations consultées et qui confirme nos propres observations, est que la constance de l'étalonnage est beaucoup plus grande dans ces appareils que dans les compteurs à frein magnétique. Sur les types récents, le pourcentage des compteurs présentant un écart de plus de 5 p. 100 ne paraît pas dépasser 1 p. 100 dans l'un ou l'autre sens.

» Notre conclusion sera que, étant donnée l'absence de dépense permanente et la réduction notable de l'entretien, point très important pour les petites stations, que, d'autre part, la constance plus grande de l'étalonnage permet de diminuer la fréquence des vérifications et qu'il n'y a pas de marche à vide à craindre de la part de ces compteurs, leur emploi se recommande aux stations de moyenne et de faible importance jusqu'à concurrence du calibre de 15 ampère,

» Nous arrivons maintenant aux compteurs de la troisième catégorie ou compteurs à champs tournants spéciaux pour les courants alternatifs.

» Ces appareils se trouvent dans des conditions analogues aux précédents.

» La sensibilité de ces compteurs au démarrage ne semble pas être inférieure à celle des types ordinaires des compteurs-moteurs, et l'exactitude aux petits débits paraît être de même ordre.

» Il n'y a pas d'observations suffisantes pour pouvoir apprécier l'influence des variations de la différence de potentiel, de la forme de la courbe et de la fréquence.

» Par principe même, les compteurs à champs tournants sont dépendants de la fréquence ; il était, par conséquent, intéressant de savoir dans quelles limites celle-ci pouvait varier sans entraîner une inexactitude inadmissible. Nous n'avons que peu de documents à cet égard. Tout ce qu'il nous est possible d'en dire, c'est qu'il paraît que l'exactitude reste suffisante entre les limites de variations de la fréquence que l'on a pu constater dans la plupart des stations.

» Nous n'avons de renseignements un peu plus complets qu'en ce qui concerne l'enregistrement des courants décalés. Il ressort de l'ensemble de la consultation que la plupart des types de compteurs à champs tournants sont encore exacts pour des valeurs de cos φ inférieures à 0,6. Ce résultat est suffisant, les cas de décalages les plus généralement constatés dans la pratique atteignant rarement cette valeur.

» En résumé, les compteurs à champs tournants paraissent être pour le courant alternatif ce que sont les compteurs d'intensité à champ fixe pour le courant continu, avec cette différence en faveur des premiers qu'ils enregistrent directement l'énergie. Ils présentent les avantages d'un prix plus bas, d'une dépense à vide moindre et, point plus important pour les stations, ils n'exigent pas un entretien aussi coûteux.

» Si nous avons reçu peu de réponses au sujet des compteurs à champ tournant, nous en avons encore reçu bien moins sur les compteurs à courants polyphasés. Le nombre des stations qui emploient ce mode de distribution s'est pourtant considérablement augmenté depuis quelques années.

» Il est vrai que ce genre de courant sert plutôt au transport à grande distance de l'énergie des sources naturelles puissantes qu'à la distribution directe.

» C'est pour cette raison que les compteurs spéciaux à ces courants ne sont employés que par une seule des stations consultées qui n'a pu nous donner aucun renseignement précis sur leurs résultats d'exploitation, ni sur leur valeur comparative.

» Nous avions cru devoir compléter notre enquête par quelques questions relatives aux compteurs pour tarifications spéciales : compteurs horaires, compteurs à paiement préalable, compteurs pour tarifs multiples.

» Les premiers sont d'un emploi déjà ancien. Il y a peu de choses à en dire, car leurs applications sont restreintes et ne tendent pas à se développer.

» Mais, par contre, nous avons été surpris de constater qu'il en est encore de même des compteurs à tarifs multiples. Ces compteurs nous semblent pourtant répondre à un besoin évident. Le développement de l'industrie électrique ne peut que gagner à l'emploi de tarifications multiples qui permettrait l'utilisation de jour du matériel des stations. Les compteurs établis dans ce but nous semblent d'ailleurs avoir résolu le problème dans des conditions suffisamment satisfaisantes pour en généraliser l'emploi. Quoi qu'il en soit, aucune des stations consultées ne fait une application assez large de la tarification multiple pour être en mesure de fournir des renseignements sur les compteurs établis en vue de cette application spéciale. »

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 27 mars [1].

Discussion des communications sur les lignes à hautes tensions. *Transactions of Am. Inst. of El. Eng.* t. XX, p. 445-493, avril 1903.

Les communications fort courtes sur cet important sujet, que nous avons analysé précédemment, n'avaient pour objet que de provoquer une discussion beaucoup plus documentée, sur laquelle nous insisterons plus longuement.

Au sujet de la communication de M. Mershon sur les *supports d'isolateurs*, M. M.-H. Gerry estime que l'idée d'établir un étalon pour ces supports est quelque peu prématurée. L'orateur croit d'ailleurs devoir critiquer divers détails du type proposé par M. Mershon. Les dimensions, diamètre et longueur, de la partie filetée lui paraissent trop faibles pour des supports en bois.

---

[1] Voir *Ecl. Élect.*, t. XXXVI, p. 192 et 519.

L'épaulement à angle droit dans la partie qui repose sur la traverse, généralement bombée, a été aussi avantageusement remplacé par un épaulement à 60° s'engageant dans un trou chanfreiné du même angle. Quant à la vis, les parties creuses ont la même hauteur que les parties pleines; la génératrice est un trapèze isocèle, à 60°, terminé de chaque côté par un arc de cercle de 60°. L'orateur décrit les supports employés par la Missouri River Power C°. Ces supports sont protégés par une douille en verre et destinés à une ligne de 50 000 volts.

M. W. Corson s'est proposé de déterminer, par une série d'essais, la valeur de la charge pratique applicable au sommet des supports. Ces essais ont porté sur des supports en bois de locustier ; la tension moyenne correspondant à la désagrégation des fibres est de 780 kg par centimètre cube et la moyenne des tensions de rupture de 984 kg par centimètre cube. L'orateur croit bon d'admettre comme charge de rupture moyenne le chiffre de 630 kg par centimètre cube. Il estime que, dans ces conditions, le type de support proposé par M. Mershon présente un coefficient de sécurité très suffisant.

M. L. Cory rappelle que les supports en bois ont été appliquées sur une vaste échelle en Californie ; cependant sur la ligne de Santa-Anna à Los Angeles (33 000 volts triphasés, deux circuits, 134 km) la Compagnie Edison a préféré des supports en fer munis de douilles en porcelaine. L'orateur cite également une série d'essais effectués au laboratoire de l'Université de Californie sur deux types de supports employés sur des lignes de 30 000, et de 40 000 à 60 000 volts (Bay Counties) respectivement [1].

L'orateur n'est pas d'avis de multiplier les types de support ; deux types suffiraient pour les tensions au-dessus et au-dessous de 30 000 volts. Mais un support en fer est, selon lui, préférable à tout. La Vancouver Power C° emploie des boulons en fer de 30 cm, entourés d'une douille en fonte de 11,5 cm, servant d'entretoise. La vis supérieure est en plomb coulé sur le fer du boulon préalablement couvert de rugosités.

M. D.-L. Huntington est lui aussi un partisan résolu de l'emploi exclusif des supports en fer ; il a eu à étudier cette question pour une ligne de 60 000 volts et a trouvé qu'un support en fer forgé et tourné serait trop coûteux. Après avoir essayé un support en fonte de 54 mm de diamètre qui supportait encore une charge de 1 350 kg, l'orateur s'est rallié à un support formé d'une tige en acier doux d'un diamètre de 29 mm s'engageant dans une douille en fonte maintenue dans la traverse au moyen d'une clavette.

Au sujet de la communication de M. Blackwell sur les *essais d'isolateurs*, M. M.-H. Gerry rappelle que ces essais doivent porter sur deux points : d'abord, la détermination des dimensions, de la forme et de la matière appropriées aux conditions où se trouvera l'isolateur ; ensuite, sur les avantages spéciaux de telle ou telle fabrication. A ce second point de vue, l'orateur estime qu'un essai électrique est superflu pour les isolateurs en verre ; un simple examen physique suffit. Quant aux isolateurs en porcelaine, cet examen doit avoir lieu en cours de fabrication, et avant l'émaillage qui peut dissimuler les défauts.

A propos des mérites relatifs des isolateurs en verre et en porcelaine M. Mershon ne voit, en faveur de la porcelaine, que le seul avantage d'une plus grande résistance mécanique, ce qui est assez important pour les isolateurs de forme compliquée, où le refroidissement inégal du verre peut d'ailleurs donner lieu à des déformations.

Sur le même sujet, M. Thomas désirerait voir la commission d'étalonnage établir une méthode pour déterminer la qualité du recuit dans les isolateurs en verre. Il estime, en effet, que la plupart des ruptures de tels isolateurs proviennent de l'action de la chaleur solaire sur ces verres mal recuits. L'orateur voudrait aussi que le temps d'immersion des isolateurs en porcelaine dans l'eau salée, avant l'essai, fût déterminé.

M. L. Waters, à propos des essais d'isolateurs, pense que, avec les machines modernes, on n'a guère à se préoccuper de la forme des courants, et de l'influence des harmoniques supérieures, ces machines donnant une forme de

[1] Il résulte de ces essais que pour les supports les plus courts (13,4 cm au-dessus de la traverse) la partie la plus faible est la queue du support, tandis que pour les plus longs (31,8 cm) c'est la partie filetée supérieure. On a remarqué aussi que la charge de rupture est plus forte lorsque la tension s'exerce parallèlement aux fibres du bois.

courant à peu près sinusoïdale. La durée d'application de la différence de potentiel y est, au contraire, très importante comme dans tous les isolants solides et, à un degré moindre, dans les liquides. C'est la différence de potentiel efficace qui semble produire une sorte de fatigue de l'isolant à la longue ; son importance paraît être beaucoup plus sérieuse que celle de la forme des courants.

Au sujet de la position des fils téléphoniques sur les poteaux d'une ligne à haute tension, M. Mershon estime qu'il y a un moyen plus simple et plus utile de maintenir le potentiel de la ligne téléphonique voisin de celui du sol ; il consiste à placer, à l'entrée des postes, des transformateurs à rapport de transformation égal à 1, et à mettre le milieu de l'enroulement à la terre. Ces enroulements seront en fil assez gros pour pouvoir supporter, en cas de contact avec un fil à haute tension, un courant capable de faire fonctionner un coupe-circuit.

Plusieurs orateurs sont d'accord avec M. Lincoln sur la production de très hauts potentiels d'induction sur une ligne téléphonique ; l'un d'eux, M. Thomas, affirme avoir vu des étincelles de 12 mm entre une telle ligne et la terre, ce qui correspondrait à 20 000 volts environ (1). Il résulte de là la nécessité, outre les autres modes de protection déjà signalés, d'isoler fortement l'opérateur du sol ; dans ce cas, même un contact avec la ligne à haute tension ne saurait produire qu'un choc désagréable, mais non dangereux (2).

M. Gerry, en ouvrant la discussion sur la combustion des supports d'isolateurs en bois, insite sur l'importance qu'il y a à enlever du bois la sève et l'humidité. Un support sec de 38 cm supportera indéfiniment une tension de 100 000 volts. L'orateur ne croit pas à l'efficacité de l'immersion dans la paraffine, l'asphalte ou l'huile de lin, si le bois n'est pas parfaitement séché.

Quant à la désagrégation du bois des supports, M. Buck l'a également observée sur la ligne de Niagara-Buffalo. L'analyse chimique a montré que la poudre blanche accompagnant ce phénomène était des nitrates, provenant sans doute de la synthèse des gaz de l'air sous l'action de l'effluve. Sur une ligne d'épreuve de 3 km soumise à une tension de 75 000 volts pendant quatre mois et formée de conducteurs en fer galvanisé, ces derniers ont été fortement noircis, sans qu'on puisse attribuer cette attaque aux intempéries ; l'orateur y voit aussi l'effet d'une synthèse de composés nitrés.

A une critique des supports en fer présentée par M. Mershon, M. de Muralt répond que l'usage général des supports en fer, ainsi que des bras et des poteaux en fer, a supprimé, en Europe, tous les inconvénients des supports non conducteurs. L'emploi d'un ciment formé de litharge et de glycérine remédie à l'inégale dilatation du fer et de la porcelaine. M. Chesney ajoute que le ciment de Portland a été employé dans le même but et avec autant de succès en Amérique. Le verre et la porcelaine ne semblent d'ailleurs pas exclure l'emploi d'autres matières et d'autres formes d'isolateurs. M. Gerry signale à ce propos des essais d'isolateurs en papier, et d'autres où les cloches sont en métal, le noyau étant en papier, verre, porcelaine, etc.

P.-L. C.

(1) A ce propos, l'orateur critique la valeur de l'excitateur à pointes comme indicateur de voltage ; dans l'air, en effet, comme dans tous les gaz, c'est la différence de potentiel maxima qui détermine la distance explosive ; cette dernière dépend aussi de l'état des pointes, des conditions atmosphériques, de la proximité d'autres conducteurs chargés à un haut potentiel, etc. On obtient des résultats un peu plus comparables avec des boules de laiton amalgamé de 25 mm.

(2) Au sujet des charges électrostatiques sur de longues lignes, M. Mailloux rapporte que sur la ligne de 64 km de Phœnix (Arizona) il a observé des charges électrostatiques donnant une étincelle de près de 40 mm sans qu'il y ait aucune connection avec une source de courant ni d'orages dans le voisinage. Ces charges s'observaient en tout temps, par la pluie ou le soleil, mais étaient toujours accompagnées d'un léger vent.

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXXVI Samedi 5 Septembre 1903. 10e Année. — N° 36

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

NOUVELLE MÉTHODE D'ESSAI DES MÉTAUX MAGNÉTIQUES

I. Principe de la méthode employée. — *Variation de la réluctance d'un barreau d'acier soumis à la traction.* — Le barreau éprouvé est tractionné avec une vitesse constante, et il est placé comme noyau d'une bobine comprenant deux enroulements superposés : 1° un circuit primaire relié aux bornes d'une pile ; 2° un circuit secondaire rejoint à un galvanomètre ordinaire. Ce dernier circuit est donc traversé par un flux variable qui se ferme par le barreau éprouvé et le bâti de la machine à traction ; et la variation de ce flux est mesurée à chaque instant par la déviation galvanométrique.

Influence des joints des têtes du barreau avec les mordaches de la machine à traction. — Dès que la traction commence, le circuit magnétique se ferme et la réluctance des joints diminue rapidement. Il en résulte que si la force magnétisante est trop faible, le flux peut être croissant au début de la traction. Mais les têtes du barreau ne tardent pas à faire corps avec les mordaches de la machine à traction, et, à partir de ce moment, le flux est décroissant

Avec notre machine à traction, et étant donné la forme des têtes de nos barreaux, il est nécessaire d'employer une force magnétisante de 40 à 50 gauss, pour que le flux soit sûrement décroissant au début de la traction.

Causes de la variation du flux. — Le flux varie pour deux causes bien distinctes : 1° modification continue des dimensions du barreau (augmentation de sa longueur, diminution de sa section) ; 2° changement de la structure moléculaire du métal, sous l'influence des pressions variables qu'il supporte. La première cause détermine une diminution régulière du flux ; mais la structure du métal se modifie par saccades, et il en résulte que la variation du flux s'effectue également par saccades ; tous les changements d'allure dans la

variation de la déviation galvanométrique correspondent évidemment à des sortes de points critiques de l'équilibre moléculaire du métal.

Influence de la grandeur de la force magnétisante sur la sensibilité des observations. — Toute modification moléculaire du métal produit une variation correspondante de sa perméabilité. Cette variation est d'autant plus accusée que la perméabilité du barreau est plus

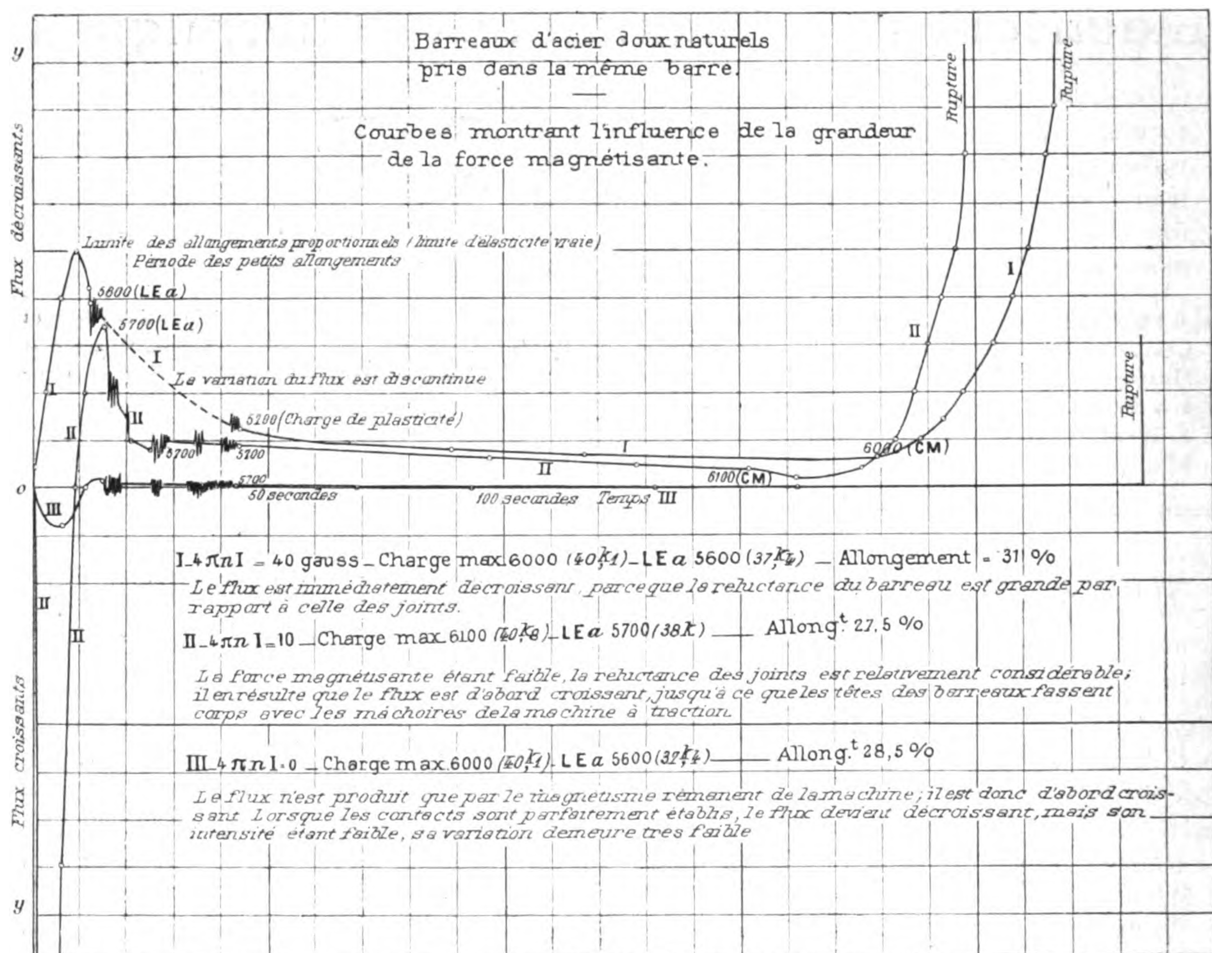


Fig. 1.

grande, c'est-à-dire qu'il est moins saturé. Pour cette seconde raison on a donc intérêt à employer des forces magnétisantes faibles. Mais pour rendre négligeable l'influence des joints, pendant la période élastique, il est bon d'opérer avec une induction voisine de celle qui correspond au coude de la courbe des variations de l'induction en fonction de la force magnétisante.

La plupart de nos essais ont été effectués avec une force magnétisante de 64 gauss, correspondant à un courant primaire de 1,8 ampère.

II. Analyse des phénomènes. — Le barreau éprouvé est, à chaque instant, en équilibre, sous l'action de l'effort total qu'il supporte et des réactions élastiques inter-moléculaires. Tout changement de structure du métal détermine une variation de ces réactions élastiques,

de sorte que les changements d'allure de la variation du flux correspondent à des changements d'allure de la variation de l'effort spécifique supporté par le barreau.

Limite d'élasticité vraie. — La limite d'élasticité vraie correspond à la première inflexion ou, tout au moins, au maximum de la déviation galvanométrique.

Limite d'élasticité apparente. — Cette limite pratique d'élasticité correspond à un arrêt, dans la variation de l'effort; le métal se trouve donc dans un état d'équilibre de structure momentané, pendant lequel sa perméabilité ne varie pas.

La limite élastique apparente qui correspond à la chute du levier ou de la colonne manométrique de la machine à traction, correspond à une chute *brusque* de la déviation galvanométrique.

Le changement de structure moléculaire du métal s'effectue par à-coups. — Si la structure du métal est parfaitement isotrope, les déformations moléculaires s'effectuent simultanément dans toute la masse du barreau, et il en résulte que la limite d'élasticité vraie coïncide avec la limite élastique apparente; cette limite unique marque ainsi la fin des déformations élastiques et le commencement des glissements moléculaires.

C'est ce que l'on observe dans le cas d'un barreau fortement écroui, et l'écrouissage apparaît alors comme une amélioration de la qualité du métal.

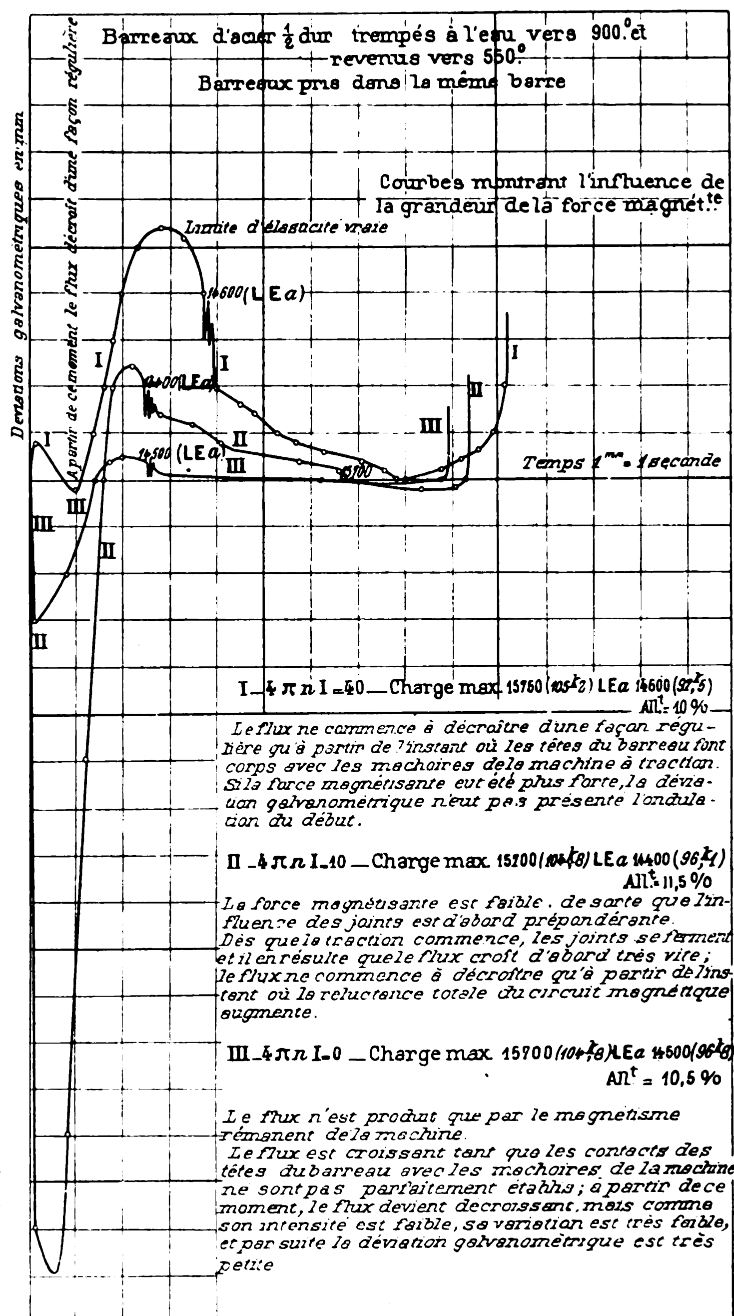


Fig. 2.

Mais, dans le cas général, les atômes mécaniques du métal n'ont pas tous la même dureté : ils changent donc de structure successivement, et la limite d'élasticité vraie correspond au premier glissement de l'élément le moins dur qui a achevé le premier sa transformation moléculaire.

Effets de la trempe. — Si, dans le barreau initial, la dureté des atômes mécaniques ou

éléments de volume est graduée, la transformation moléculaire de ces mêmes éléments s'opérera d'une façon continue et graduée. C'est ce que l'on observe dans le cas de la traction d'un barreau fortement trempé : la structure du métal se modifie d'une façon continue ; la vitesse de transformation est d'abord croissante, elle passe par un maximum correspondant à la limite d'élasticité vraie, puis décroît d'une façon d'autant plus régulière que le métal initial était plus homogène.

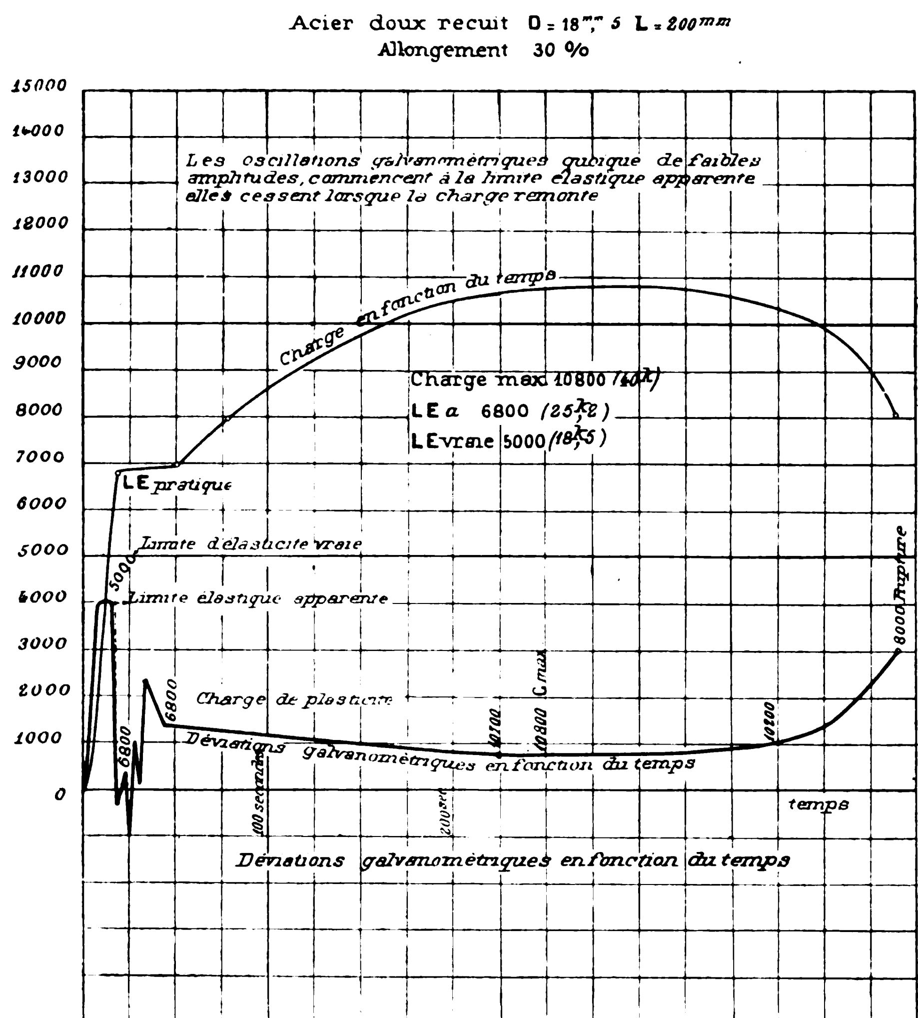


Fig. 3.

Les paliers au maximum secondaire de la déviation galvanométrique correspondent à des transformations plus actives du métal ; au contraire, une diminution rapide de la déviation galvanométrique correspond à un état d'équilibre relativement stable de la structure moléculaire.

Influence du recuit. — Mais, si la gamme de dureté des atômes mécaniques est discontinue, la transformation moléculaire du barreau sera également discontinue, et il en sera de même pour la variation de la déviation galvanométrique, après la limite d'élasticité vraie. C'est ce que l'on observe pendant la traction de tous les barreaux de fer ou d'acier recuits.

Hétérogénéité du métal. — Un barreau recuit est donc composé d'éléments de duretés différentes, et si on groupait ensemble les éléments présentant la même dureté, on aurait un nombre de groupes déterminé et fonction de la nuance et du traitement du métal.

Le corroyage a pour effet de réduire le nombre de ces groupements et, par suite, de produire une élévation de la limite élastique vraie ; la trempe rend le métal isotrope en donnant à tous les éléments la même dureté. Mais son action n'est uniforme que pour tous les éléments qui sont situés sur une même couche concentrique : un barreau trempé est

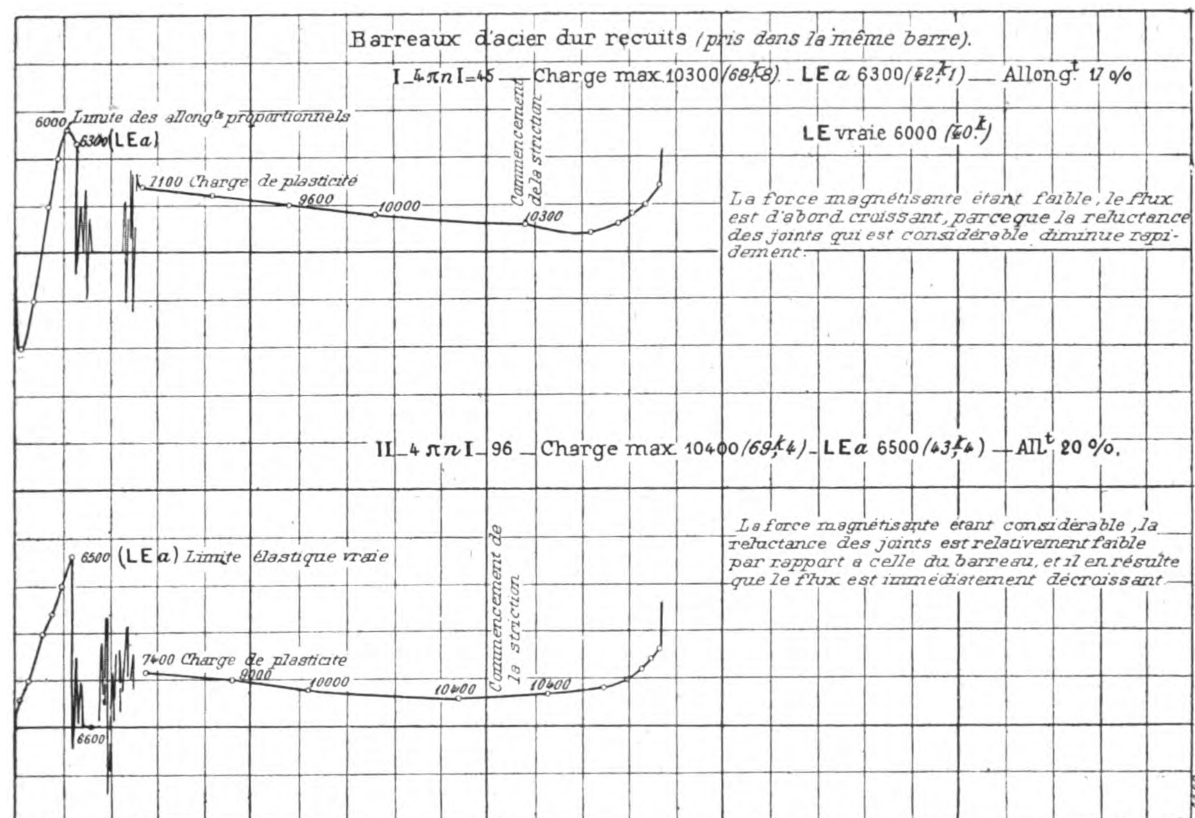


Fig. 4.

donc composé de couches dont la dureté va en décroissant, d'une façon continue, depuis la surface jusqu'au centre du barreau.

La limite élastique vraie d'un barreau trempé correspond à la transformation moléculaire de la partie centrale du barreau.

Charge de plasticité.— Lorsque les éléments les plus durs ont achevé leur transformation moléculaire, le flux ne varie plus, alors que par le fait du changement des dimensions du barreau.

La déviation galvanométrique décroît alors très lentement et avec une vitesse sensiblement constante. Le barreau est plastique et sa structure ne varie plus : ses éléments ne font que glisser les uns par rapport aux autres.

L'effort spécifique correspondant au commencement de la période plastique est facile à mesurer, et il peut caractériser parfaitement toute nuance de métal.

Le commencement de la période plastique est absolument net pour tout métal forgé ou

laminé ; mais, dans le cas d'un acier brut de coulée, les déformations moléculaires se produisent pendant tout le cours de la traction du barreau : la limite d'élasticité vraie n'existe pas, à proprement parler, et on n'observe ni période élastique ni période plastique nette.

Un acier dur trempé ne devient jamais plastique, et sa structure se modifie jusqu'à la rupture du barreau ; mais cette transformation s'effectue toujours d'une façon continue.

Analogie et différence entre la trempe et l'écrouissage. — L'écrouissage durcit également tous les éléments de volume du barreau ; dès lors, il rend le métal isotrope et, par suite,

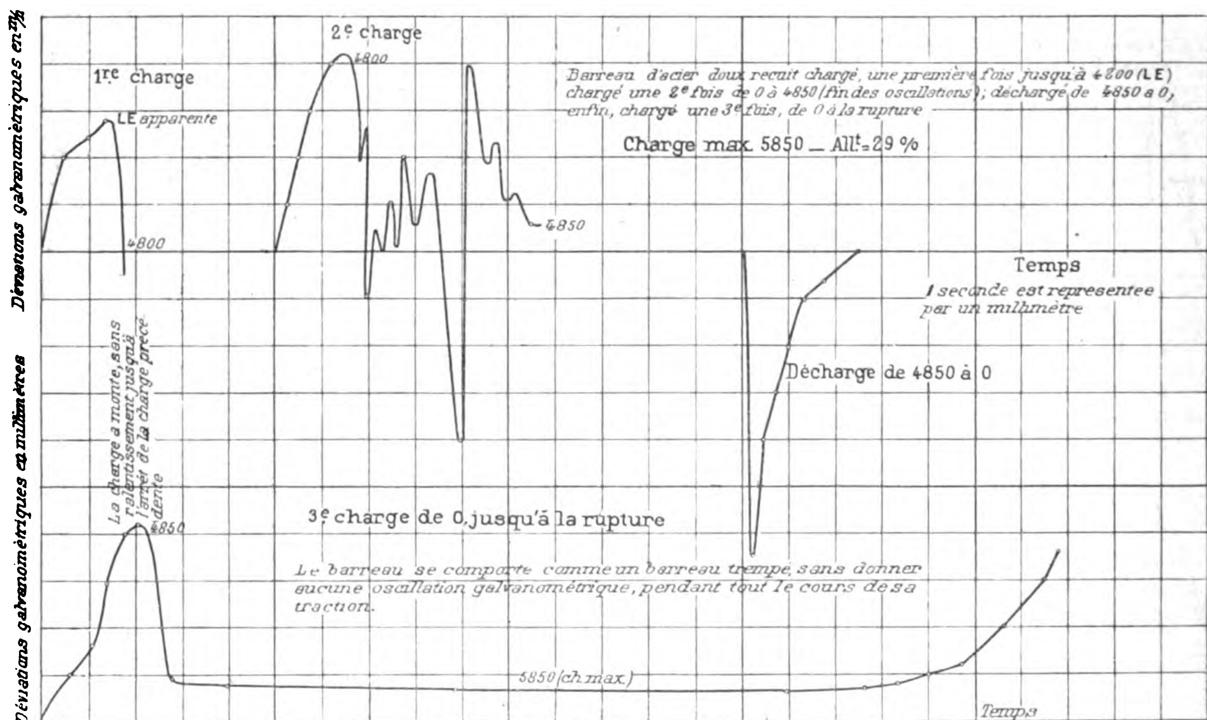


Fig. 5.

rapproche la limite d'élasticité vraie de la charge de plasticité qui peut être élevée jusqu'à la charge de rupture.

L'effet de la trempe va en décroissant à partir de la surface du métal, et il en résulte qu'un barreau trempé n'est pas du tout homogène et que l'écart entre la limite d'élasticité vraie et la charge de plasticité peut être considérable.

Mais, un barreau énergiquement trempé, de même qu'un barreau écroui, donnent toujours, pour le flux, une variation continue.

Striction.— Dès que la contraction du barreau se localise, les réactions élastiques peuvent décroître, dans la région cylindrique du barreau. Dans cette région, la déformation moléculaire se produit alors en sens inverse, de sorte que le flux peut cesser de décroître malgré la contraction du barreau : la déviation galvanométrique décroît plus vite et elle peut même changer de sens. Ce fait se produit lorsque le barreau est loin de la plasticité au moment où la striction commence (barreaux d'acier dur trempés).

Mais, dans le cas d'un barreau recuit, la plasticité est, en général, complète au moment

de la striction qui se manifeste alors par une augmentation rapide et continue de la déviation galvanométrique.

Dans tous les cas, le commencement de la striction est très net.

III. Manque de précision des mesures ordinaires. — 1° La limite élastique apparente est évidemment fonction de la vitesse de traction. Elle ne correspond, d'ailleurs, ni au commencement ni à la fin de la transformation moléculaire du métal et, par conséquent, à aucun point critique de l'équilibre moléculaire.

Barreau soumis à des tractions successives

Barreau d'acier ½ dur trempé à l'eau vers 900° et revenu vers 550°

$4 \pi n I = 64$ — Charge max 15900 (106k3) LEa 13800 (92k) All.t 7 %

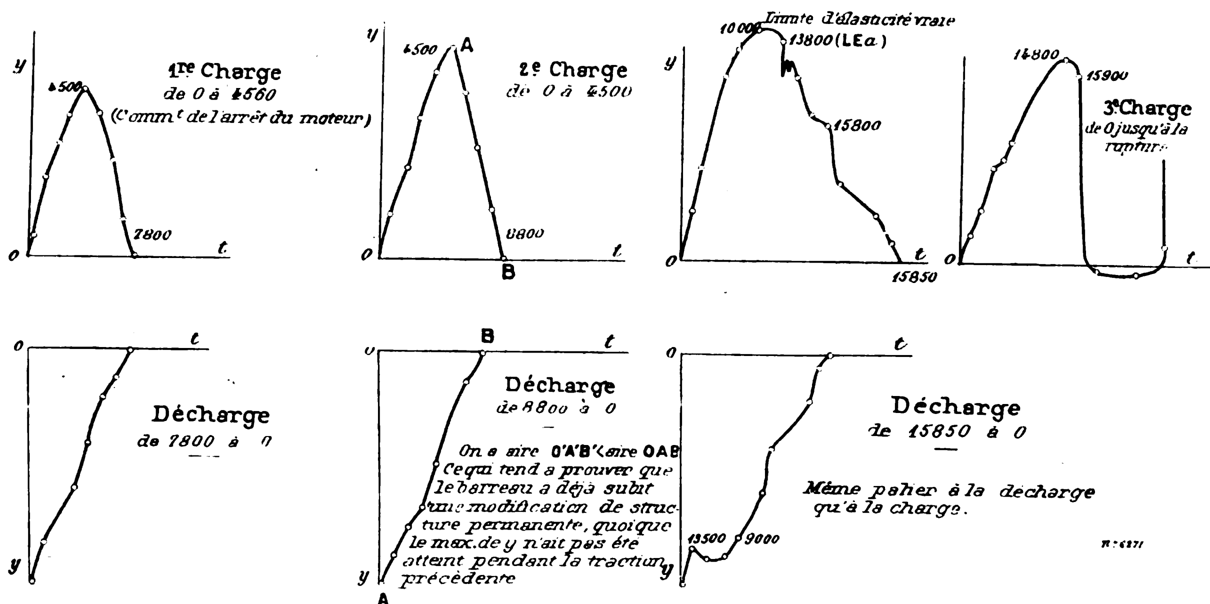


Fig. 6.

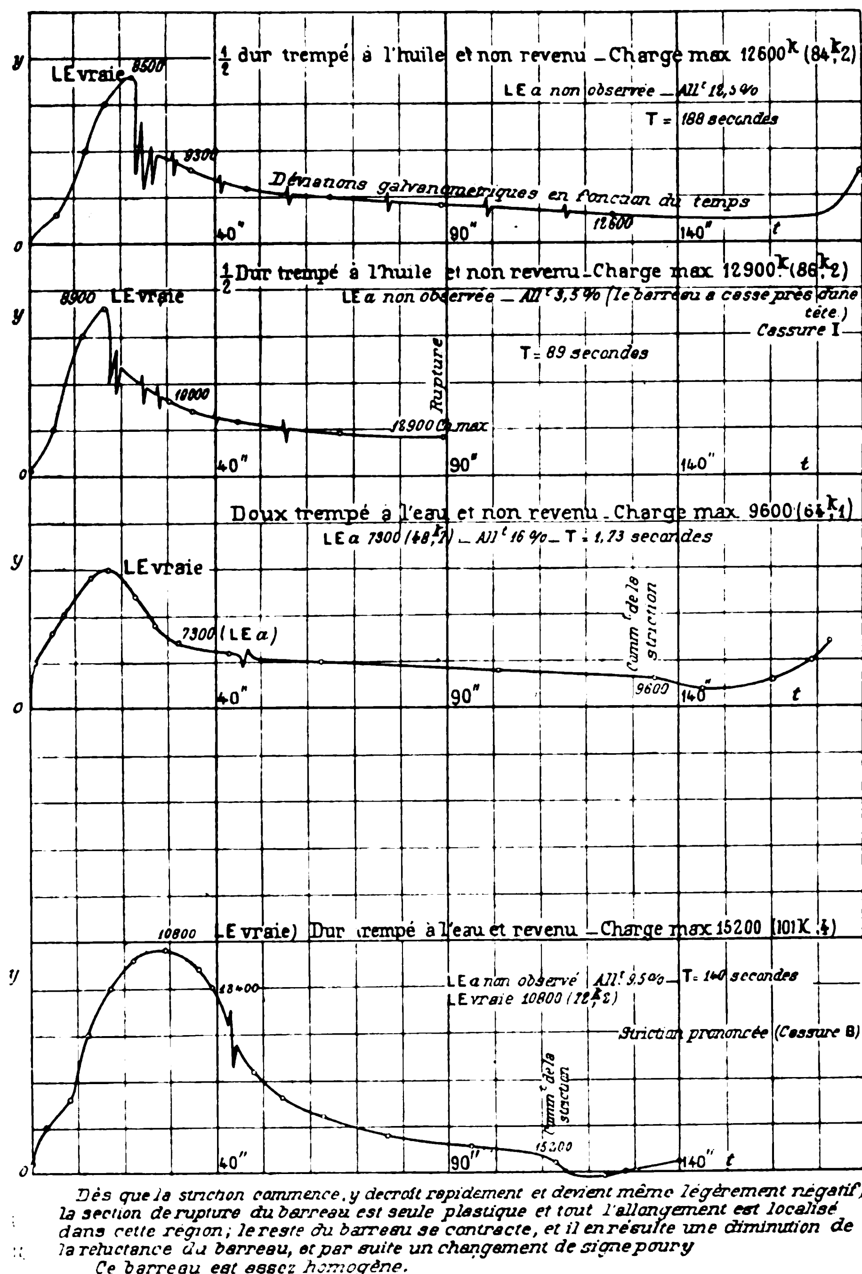
2° La charge maximum rapportée à l'unité de la section primitive du barreau ne répond à rien de net, car pour déterminer la valeur de la cohésion, il faudrait rapporter l'effort de rupture à l'unité de section minimum. Mais cette détermination est difficile et ne peut se faire, dans la pratique.

3° L'allongement p. 100 rapporté à la longueur initiale du barreau dépend également de la vitesse de la traction ; d'ailleurs, il ne mesure pas du tout la ductilité du métal et il faudrait, pour cela, mesurer l'allongement au fond de la gorge de la striction, ce qui n'est guère possible dans la pratique.

En résumé, les trois éléments qui sont fournis habituellement par les essais de traction manquent de précision, et surtout n'expriment aucune propriété définie du métal.

IV. Avantages des mesures proposées. — 1° La limite élastique vraie peut être déterminée par notre méthode très facilement et avec la plus grande précision. Elle correspond à un point critique de l'équilibre moléculaire du métal et, de ce fait, sa détermination est précieuse lorsqu'il s'agit d'évaluer la résistance à la déformation d'une pièce terminée.

Mais, toutes les limites élastiques sont éminemment fonction de l'écrouissage antérieur du métal, et pour cette raison, aucune ne peut caractériser la nuance de ce métal. Nous la déterminons par l'effort spécifique de plasticité. Cette mesure peut être effectuée rapidement et très exactement.



Dès que la striction commence, y décroît rapidement et devient même légèrement négatif; la section de rupture du barreau est seule plastique et tout l'allongement est localisé dans cette région; le reste du barreau se contracte, et il en résulte une diminution de la reluctance du barreau, et par suite un changement de signe pour y

Ce barreau est assez homogène.

Fig. 7.

Conclusions.— Notre méthode d'essai permet d'obtenir facilement des renseignements précis sur la nuance du métal et sur le traitement qu'on lui a fait subir (recuit, corroyage, écrouissage, trempe) ; les déformations moléculaires produites par la traction sont rendues

en quelque sorte, visibles, et en particulier le passage de la période élastique à la période plastique donne lieu à des observations très intéressantes au point de vue du degré d'homogénéité du métal. C'est ce que montrent les figures 1 à 7.

Facilité d'exécution. — Le montage se réduit à rien, et la méthode peut être facilement employée par un personnel quelconque, sans aucune perte de temps.

La bobine employée peut être enroulée en quelques heures, et comme tous les établissements métallurgiques importants disposent d'un galvanomètre qui leur sert à la mesure des températures, on peut dire que notre méthode d'essai peut être mise en pratique sans aucune installation nouvelle.

L. Fraichet
Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

LES NOUVEAUX PROGRÈS
DE LA SÉPARATION MAGNÉTIQUE DES MINERAIS

La technique de la préparation des minerais a fait, grâce à l'application du procédé Wetherill, de nouveaux progrès dans la séparateurs magnétique, et le mineur de profession qui ne faisait autrefois qu'une distinction sommaire entre les minerais magnétiques tels que la magnétite, la pyrite magnétique, etc., et les minerais non magnétiques comprenant tous les autres, reconnaît aujourd'hui possible la séparation de toute une catégorie de minerais dits « de faible susceptibilité magnétique ».

Sans revenir sur les différents types de séparateurs Wetherill, je crois utile de signaler les nouveaux types construits par la Metallurgische Gesellschaft A. G. de Frankfurt a. M. et présentant les derniers perfectionnements. Le type VI (fig. 1), qui jouit en Alle-

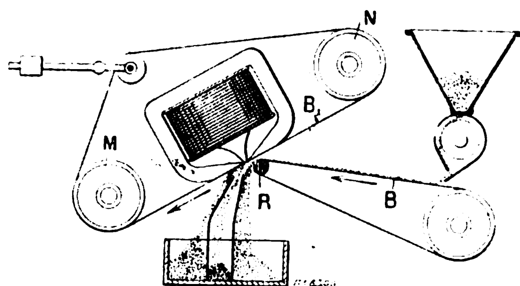


Fig. 1.

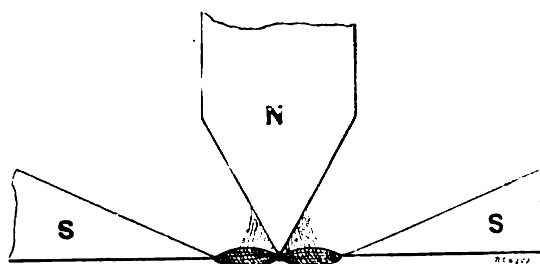


Fig. 2.

magne d'une grande faveur, a les pôles de ses électro-aimants placés d'une façon particulière. Au centre se trouve le pôle principal N et à droite et à gauche de ce dernier les deux autres pôles S, comme l'indique la figure 2. On obtient par ce fait un centre de magnétisme très concentré et les lignes de force magnétiques agissent ainsi sur une grande longueur.

Le minerai à séparer s'écoule de la trémie, tombe sur un tambour qui tourne continuellement et alimente la bande B (fig. 1) placée au-dessous. Celle-ci porte le minerai vers le centre même du magnétisme. Elle tourne autour du tambour R où le minerai s'échappe de la bande. Alors qu'il est en suspension dans l'air pendant sa chute le minerai est soumis à l'action magnétique. Les parties non magnétiques tombent tout de suite de la courroie

après avoir passé devant le centre d'effet des pôles, tandis que les autres parties sont attirées par les électro-aimants. La courroie B_1, qui tourne autour des tambours N et M, passe directement au-dessous des pôles de l'aimant et suivant leur perméabilité magnétique, les particules de minerai sont plus ou moins entraînées et tombent dans l'un des trois réservoirs inférieurs. Il est à noter que dans la séparation, il arrive presque toujours que des grains assez gros ne présentent pas une parfaite homogénéité : ce sont ces parties qui occupent le compartiment médian entre les grains magnétiques et ceux qui manquent de magnétisme. Elles peuvent être travaillées à nouveau en vue d'une deuxième séparation.

Ce séparateur est très énergique, car on peut employer une grande vitesse pour le déplacement de la courroie ; mais son rendement dépend toujours de la qualité magnétique des minerais et de la grosseur des grains. Pour une courroie de 1 cm de large, l'effet est de 30 kg par heure, ce qui fait pour une simple largeur de pôle de 50 cm 1 500 kg par heure. L'usure des bandes est très minime dans ce séparateur : une garniture suffit, d'après expérience, pour 30 journées de travail de 20 heures, ce qui représente une dépense de 0,011 fr pour 1 000 kg de minerais traités. La force motrice, seulement nécessaire pour le mouvement des tambours, est de 0,6 cheval-vapeur.

Les minerais plus magnétiques exigent pour leur séparation plus d'énergie électrique que ceux qui le sont moins.

Pour la séparation du fer spathique de la blende, il faut 1 hectowatt-heure pour 1 000 kg de minerai travaillés, c'est-à-dire un peu moins de ce qu'exige une lampe électrique de 32 bougies par heure. La surveillance de ce séparateur est très facile et il suffit d'un seul ouvrier pour une série de six machines de ce type.

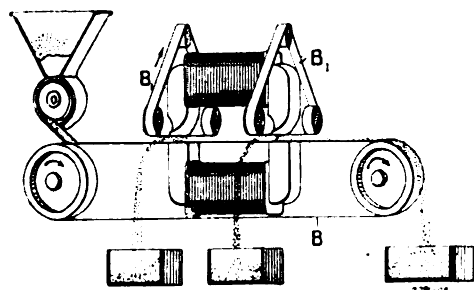


Fig. 3.

Un autre séparateur dont le rendement est moindre et qui néanmoins fournit une séparation bien exacte est figuré ci-contre. Dans le type précédent, l'on a vu que les minerais magnétiques étaient détournés horizontalement ; dans celui-ci (fig. 3), ils sont complètement enlevés et entraînés perpendiculairement à la direction primitivement prise. Le minerai tombe par les orifices de la trémie sur un tambour inférieur tournant d'une façon continue et il est ainsi bien également distribué sur la courroie sans fin B. Normalement à celle-ci se meuvent entre les pôles de l'aimant les bandes B_1. Le système magnétique consiste en deux électro-aimants en forme d'U séparés l'un de l'autre et dont les pôles sont respectivement placés l'un au-dessus de l'autre (fig. 4). Les pôles magnétiques supérieurs sont cunéiformes, tandis que les pôles inférieurs sont plats. De cette conformité, il résulte que lorsque la courroie sans fin B est épaisse les minerais magnétiques sont assez rapprochés des pôles pointus et subissent par conséquent une attraction très efficace. Le même avantage se présente pour les bandes minces B_1 normales à B et grâce auxquelles le minerai magnétique, attiré vers les pôles supérieurs, est séparé et entraîné.

Le rendement de ce nouveau type de séparateur dépend naturellement de la couche de minerais magnétiques se trouvant sur la courroie et aussi de la vitesse des deux bandes. La New-Jersey Zinc Cie, en vue de la séparation de la franklinite et de la willenite, a installé trois systèmes d'aimants placés l'un à la suite de l'autre avec une seule courroie de transport. La quantité de minerais ainsi traités s'est considérablement augmentée, grâce à cette sextuple séparation. C'est un très grand avantage pour la séparation de minerais très diffé-

remment magnétiques que de pouvoir placer un certain nombre d'aimants les uns à la suite des autres. Un séparateur peut traiter 3 000 à 4 000 kg par heure, avec une largeur de pôle de 45 cm environ et avec un ouvrier pour surveiller le travail. On obtient avec ce type nouveau des produits séparés d'une très grande propreté et aussi doit-on le préconiser pour le traitement des minerais précieux. D'ailleurs cette machine est employée aux mines de la « Société De Beers Consolidàted Mines » à Kimberley pour le traitement des minerais diamantifères. Dans ces mines, on trouve une matière contenant du diamant et du fer en présence de magnétite, fer chromé, fer titané, etc., etc. Par l'emploi de ce nouveau trieur, le produit magnétique séparé ne contient plus trace de diamant.

Il en est de même pour la séparation du sable monazité que contiennent les terres rares :

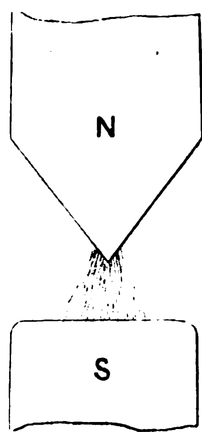


Fig. 4.

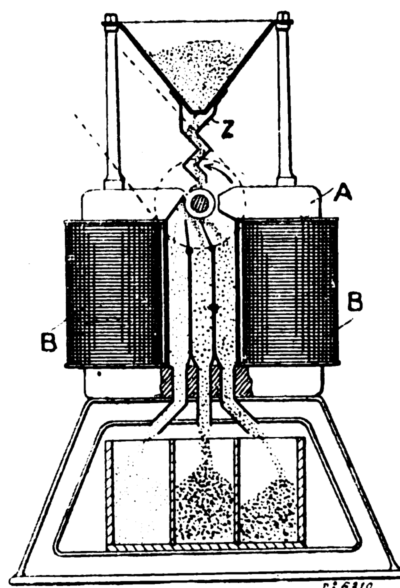


Fig. 5.

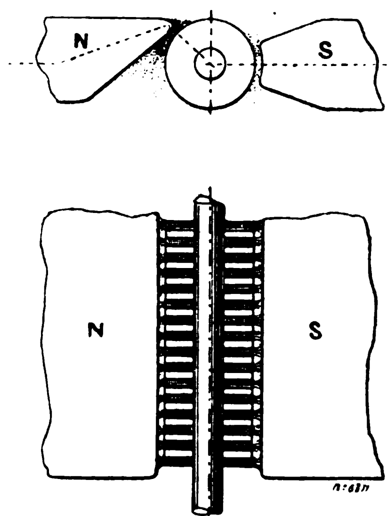


Fig. 6 et 7.

thorium, cérium, zircone, très importantes pour la technique de l'éclairage à incandescence et qui est accompagné de fer titané, d'acide tantalique, de quartz, de rutile, etc., etc. Ce séparateur prend à chaque pôle d'abord les minerais de titane, le rutile, la monazite proprement dite, et le quartz reste comme produit non magnétique. Dans ces derniers cas, il est naturellement besoin d'avoir des aimants relativement puissants et par cela même une très grande énergie électrique, ce qui n'a pas lieu avec des minerais doués de propriétés magnétiques très actives.

Dans un nouvel appareil dit « séparateur cylindre » et basé sur un principe analogue, la séparation s'effectue sur la surface d'un cylindre tournant et utilise les phénomènes d'induction. Le séparateur possède un système d'électro-aimants B (fig. 5) dont les pièces polaires A sont placées vis-à-vis l'une de l'autre et entre celles-ci tourne, à la façon de l'induit d'une dynamo, un cylindre constitué par une série d'anneaux juxtaposés (fig. 7) faits en métaux plus ou moins magnétiques, pour obtenir une grande division eu égard aux courants de Foucault et des concentrations locales nécessaires pour une séparation énergique.

Le minerai est alimenté dans la trémie Z et s'écoule dans le distributeur en zigzag. Il tombe sur la surface latérale du cylindre qui, une fois constitué, a été soigneusement tourné et poli. Les parties non magnétiques tombent du cylindre en décrivant une grande

courbe tandis que les autres restent adhérentes à la surface du cylindre et sont entraînées par lui. Elles s'en détachent plus ou moins rapidement suivant leur perméabilité magnétique et la chute des particules relativement magnétiques est favorisée par le fait que — comme pour ce qui se passe dans les dynamos — elles se trouvent entre les deux pôles dans deux zones du cylindre neutres où a lieu le changement de polarité.

Dans les pièces polaires N et S, les lignes de force magnétiques allant d'un pôle à l'autre créent sur le cylindre des pôles inducteurs — tout comme pour les dynamos — et suivent le tracé de la figure 6. Le minerai qui court continuellement sur le cylindre, est attiré par les pôles inducteurs et par suite des concentrations locales des lignes magnétiques les particules magnétiques adhèrent à la surface extérieure du cylindre pour tomber ensuite en arrivant dans la zone neutre.

Par suite de la différence constitutive des matières magnétiques ou non, la séparation se

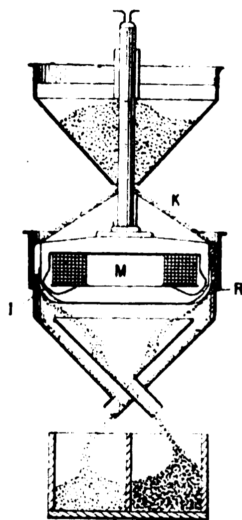


Fig. 8.



Fig. 9.

fait suivant un angle différent, nettement défini pour chacune et utilisé spécialement pour obtenir une exacte séparation.

Les expériences faites par l'atelier de construction Humboldt, à Kulk près de Cologne, ont établi que la séparation humide magnétique est applicable avec cet appareil-cylindre et l'on a pu voir à l'Exposition de Dusseldorf un séparateur de ce type extraire du fer spathique contenu dans une boue liquide de blende.

Un séparateur nouveau, de moindre importance que le précédent mais très intéressant pour l'électrotechnicien à cause du système unipolaire de ses aimants, est représenté figure 8 et 9. Il n'a été jusqu'à ce jour employé que pour le triage de matières très magnétiques telles que magnétites, sable magnétique, pyrites de fer grillées, etc., etc.

La pièce polaire M a l'aspect d'une cloche et la bobine concentrique qui excite les aimants est entourée par les bords métalliques de la cloche. En I, près de la surface extérieure cylindrique du système des aimants se trouve un étroit passage par lequel les lignes magnétiques sont obligées de passer et de s'incurver vers l'axe du séparateur. Comme on le voit, il s'est créé une large zone dont l'intensité diminue en haut et en bas et dans laquelle le minerai est reçu. Le minerai alimenté dans la trémie supérieure est distribué en nappe mince sur le cône K et tombe dans l'espace annulaire R où il subit l'influence

magnétique. Les parties non magnétiques tombent sans avoir été influencées tandis que les matières magnétiques suivent le profil de l'aimant, s'incurvent radialement vers l'axe du système des aimants. Des résultats très intéressants ont été obtenus dans l'atelier d'essai de la Société Humboldt pour la séparation des blendes grillées et menues de la Haute Silésie. En voici les résultats :

MINERAI GRILLÉ				QUANTITÉ travaillée.	PRODUIT MAGNÉTIQUE		BLENDE non magnétique.		RENDEMENT en zinc.
Classe.	Grosseur des grains en millimètres.	Poids p. 100 de chaque classe.	Teneur en Zn p. 100.	En kg par heure.	Poids p. 100.	Zn p. 100.	Poids p. 100.	Zn p. 100.	P. 100.
I	de 4 à 2,4	30,29	34,25	1.000	10,18	6,1	20,11	48,5	94,01
II. . . .	de 2,4 à 1,2	33,05	34,15	1.050	13,23	6,5	19,82	52,6	92,37
III . . .	de 1,2 à 0,6	14,18	35,25	1.000	5,34	5,7	8,84	53.1	93,91
IV . . .	de 0,6 à 0,0	22,48	32,69	400	8,05	6,5	14.43	47.3	92.86
		100,00	34,00		36.80	6,27	63,20	50,15	93,21

Comme on peut le voir, un petit séparateur annulaire d'un diamètre de 0,40 cm pour la pièce polaire est en état de travailler 1 000 kg par heure. Avec un minerai grillé à 34,00 p. 100 de Zn en moyenne, l'on obtient un produit magnétique moyen à 6,27 p. 100 de Zn, tandis que le produit non magnétique en contient 50,17. On a extrait 93,21 p. 100 du zinc contenu dans le minerai primitif. Quant à la poussière obtenue par la mouture et travaillée avec les grains de la classe IV, il est à noter qu'elle a une influence défavorable sur la production traitée et sur la qualité. L'on ne peut guère traiter que 400 kg qui fournissent après triage une blende à 47,3 p. 100 de Zn, ce qui fait descendre le rendement du zinc à 92,86. L'on a donc avantage à traiter les minerais de la grosseur des classes I, II et III et éviter la production de poussière trop fine.

Léonce Fabre

Professeur de chimie industrielle à l'École d'Ingénieurs de Marseille.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

Funiculaire électrique de Chiaia à Naples, par **A. Galimberti**. *L'Elettricista*, t. XII, p. 113, mai 1903.

Le tramway funiculaire de Chiaia met en communication la partie occidentale de la ville de Naples avec le plateau du Vomère. La ligne est à double voie à écartement normal, avec une longueur de 560 m et une pente de 29,8 p. 100. Au milieu de chaque voie est la crémaillère à double barre système Abt pour le freinage en cas d'accident.

Les voitures pèsent 9 500 kg à vide et peuvent contenir 60 voyageurs; elles sont munies de deux freins, l'un à main, l'autre automatique du type Abt. La chaîne de traction était renvoyée par deux poulies verticales et deux inclinées à la salle des machines où se trouvaient deux motrices compound de 150 chevaux et trois chaudières tubulaires Mayer de 200 m² chacune de surface de chauffe lorsque la traction était à

vapeur. Depuis, la traction électrique lui a été substituée.

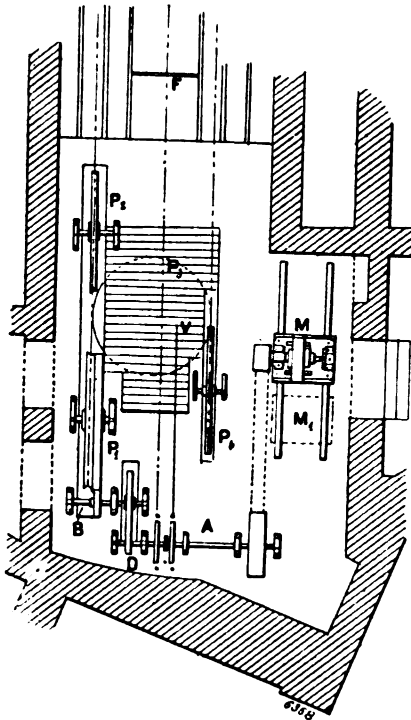


Fig. 1.

Le moteur électrique M transmet le mouvement par courroie à l'arbre A (fig. 1 et 2), sur lequel sont placées les poulies des freins et un pignon à dents D qui actionne l'arbre B, par lequel au moyen d'un autre pignon est commandée la grande poulie P_1 à trois gorges. Le nombre de tours correspond à une vitesse périphérique de 3 m par seconde, qui est la vitesse des trains sur la ligne.

La partie de la chaîne qui reçoit le mouvement appuie directement dans une des gorges de P_1 (fig. 3), est renvoyée par croisement à la poulie P_2 pour retourner à P_1 et de là à la poulie horizontale P_3 et à la verticale P_4 d'où elle revient à la ligne. Les poulies P_1 et P_2 sont construites la première à trois gorges et la seconde à deux, bien que dans l'enroulement précédent on utilise une gorge de moins par poulie. Les gorges supplémentaires ont été faites en prévision d'une augmentation du poids des voitures ou du nombre des trains pour augmenter la surface d'adhérence de la chaîne.

Le mécanicien est placé sur une plate-forme protégée par des parois de verre (fig. 2), tous les appareils de commande sont à portée de sa main et laissent la vue libre sur la ligne.

Le courant est fourni par la Société générale d'éclairage sous forme de courant continu au potentiel moyen de 500 volts, variable de 450 à 550.

Le moteur M (fig. 1) est un moteur en dérivation, à 500 volts, il fait 700 tours par minute, l'arbre A, 295, B, 90, et enfin la poulie P_1 fait 14,2 tours à la minute. Un deuxième moteur sert de réserve en cas d'accident.

Les freins sont chacun essentiellement constitués par une poulie à frottement, entourée par deux sabots de bois portés par des leviers commandés par un arbre à vis.

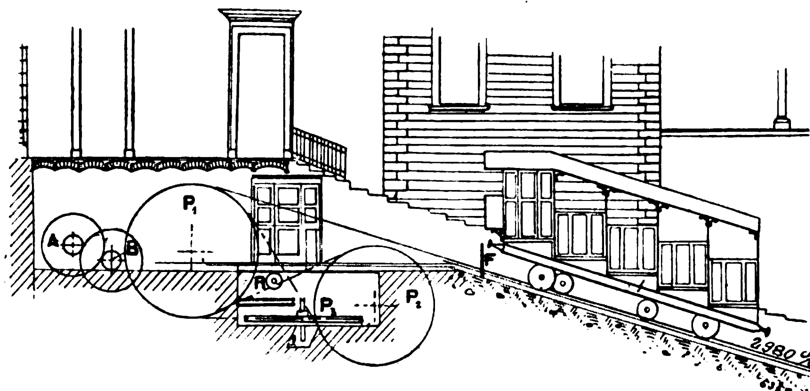


Fig. 4.

Le travail maximum à fournir correspond à la mise en marche quand la voiture inférieure est complètement chargée et la voiture supérieure vide.

Appelons β l'angle de pente, 16°,35'.

P_1 le poids de la voiture vide, 9500 kg.

P_2 le poids des 61 voyageurs, 4270 kg.

p le poids par mètre de la chaîne, 4,5 kg.

L la longueur de la ligne, 560 m.

f le coefficient de frottement de la chaîne sur les rouleaux, 0,02.

f_1 le coefficient de résistance du véhicule ou mouvement, 0,006.

La tension à la partie supérieure de la chaîne est

$$T_1 = 4770 \text{ kg},$$

la tension de la partie descendante

$$T_2 = 2653\,;$$

l'effort moteur à la périphérie de la poulie motrice est donc

$$F = T_1 - T_2 = 2117 \text{ kg}.$$

Le travail moteur pour une vitesse de 3 m et un coefficient de rendement de 75 p. 100 pour le

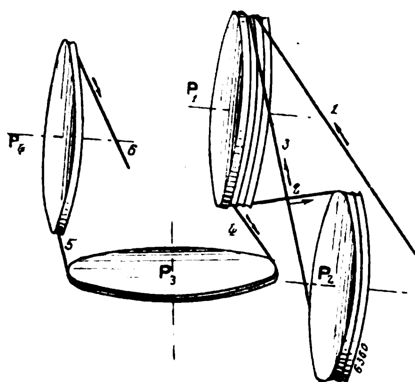


Fig. 3.

système des poulies et des transmissions, est ainsi de 113 chevaux.

Le moteur de l'installation est de 135 chevaux.

Il est facile de voir que l'enroulement décrit donne une surface d'adhérence plus que suffisante.

L'éclairage des voitures est fait par contact à patins le long de la voie sur une distribution à 110 volts.

Le conducteur de voiture dispose d'un bouton de sonnerie d'alarme pour ordonner l'arrêt du train.

La ligne a un arrêt à 150 m du départ; les deux voitures attachées aux extrémités de la chaîne devant s'arrêter en ce point, cela donne lieu à trois démarrages pour chaque course, d'où une consommation d'énergie relativement grande (elle varie de 1,2 à 2,2 kilowatts-heure suivant que la charge prédominante est à la descente ou à la montée). G.

TÉLÉGRAPHIE

Résistance des contacts imparfaits; expériences de résonance avec le cohéreur, par **P.-E. Robinson**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 754-797, juillet 1903.

Ce travail est en partie, une vérification de celui de Guthe et Trowbridge [1].

I. Résistance des contacts imparfaits. — A. *Courant continu.* — Le contact est unique, formé par deux tiges de métal librement suspendues à des fils de soie (fig. 1).

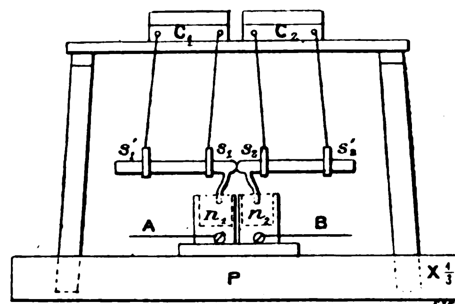


Fig. 1.

Le circuit du cohéreur est installé comme le représente la figure 2. Le cohéreur est en c : en série avec lui sont disposés les rhéostats w_2 et W. La différence de potentiel établie entre les deux pièces du cohéreur est celle qui existe aux extrémités de la résistance w_1 insérée dans le

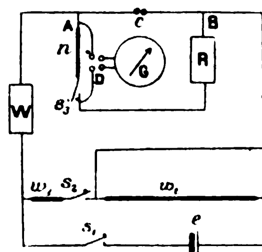


Fig. 2.

circuit d'un accumulateur e en même temps que le rhéostat w_2. En fermant la clef s_2 et réglant la résistance w_2, on peut donner à cette différence de potentiel une valeur quelconque inférieure

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 17, octobre 1901.

à la force électromotrice de l'accumulateur. On la mesure au moyen du galvanomètre G fonctionnant comme voltmètre, grâce à la résistance R ; n est un shunt qu'on peut supprimer à l'aide de la clef s_3.

Mode d'expérience. — Soit p la différence de potentiel mesurée par le galvanomètre, w' la résistance totale entre A et B. γ la résistance de la branche renfermant le galvanomètre, la résistance c du cohéreur est donnée par :

$$c = \frac{1}{\frac{1}{w'} - \frac{1}{\gamma}}$$

où

$$w' = \frac{Wp}{e\frac{w_1}{w_1 + w_2} - p} \quad \text{ou} \quad w' = \frac{(W + w_2)\,p}{e - p}$$

suivant que s_2 est fermé ou ouvert.

Le cohéreur repose sur un pilier solide, à l'abri des vibrations. On amène les axes des deux tiges sur une même ligne et on donne à la pression une valeur déterminée. Puis après avoir séparé les tiges on les amène de nouveau au contact et on mesure la résistance du cohéreur sous une force électromotrice très faible 0,01 volt environ. La résistance trouvée ainsi est la résistance initiale c_0. On augmente progressivement la force électromotrice et on mesure chaque fois la résistance, jusqu'à ce qu'elle soit tombée à une valeur très faible. Mais avant chaque augmentation, on refait une mesure avec la force électromotrice initiale p_0.

Résultats. Contact d'acier. — Les surfaces de contact étaient polies fin.

Les courbes des figures 3 et 4 représentent la variation de la résistance c (ordonnées) en fonction de la force électromotrice p (abscisses). Les courbes des figures 5 et 6 indiquent les variations de c (abscisses) en fonction de W (ordonnées).

La résistance c décroît constamment à mesure que la force électromotrice p augmente. Pour une certaine valeur de p, la diminution devient tout d'un coup extrêmement rapide. A partir de ce moment, le contact fonctionne comme un cohéreur proprement dit.

Résistance initiale et pression. — En général, la résistance initiale décroît quand la pression augmente : mais elle peut, pour une même pression prendre des valeurs très différentes.

Caractère élastique de la résistance de contact. — La résistance du cohéreur est l'image d'un corps imparfaitement élastique, possédant une certaine viscosité. Quand on établit entre les deux pièces une différence de potentiel déterminée, cette résistance ne se fixe pas immédiatement à une valeur déterminée, mais s'approche d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement d'une certaine limite. L'équilibre définitif met plusieurs heures à s'établir : mais en général, après quelques minutes, la résistance est assez voisine de sa valeur définitive pour qu'il soit inutile d'attendre davantage.

Relation entre la résistance et la force électromotrice. — La résistance du cohéreur est à très peu près une fonction linéaire de la force électromotrice établie à ses extrémités :

$$\frac{p}{a} + \frac{c}{b} = 1\,;$$

a est la force électromotrice qui rendrait la résistance du contact nulle, s'il n'y avait pas le phénomène particulier au cohéreur : b est la résistance initiale correspondant à une force électromotrice infiniment petite.

Différence de potentiel critique. — On désigne ainsi la différence de potentiel pour laquelle la résistance du cohéreur éprouve une diminution brusque.

Cette différence de potentiel n'est pas constante, elle dépend de la pression et aussi d'autres circonstances dont il sera question dans un instant.

Contact cohérent. — Quand la force électromotrice a dépassé la valeur critique, le contact devient cohérent ; la résistance baisse brusquement et prend une valeur telle que la différence de potentiel devienne égale à 0,2 volt environ : c'est la différence de potentiel d'équilibre. La diminution de résistance dépend de la résistance du circuit extérieur. La différence de potentiel d'équilibre varie avec la pression du contact, mais est indépendante des autres circonstances.

L'élasticité du contact observée avec les différences de potentiel inférieures à la valeur critique disparaît complètement : de même la viscosité. Bien plus, on trouve maintenant des résistances plus petites pour les différences de potentiel plus faibles.

Explication. — Les propriétés du cohéreur, au-dessous de la différence de potentiel critique,

s'expliquent en considérant sa résistance comme celle d'une couche élastique médiocrement conductrice recouvrant les surfaces en contact. Quand on établit une différence de potentiel

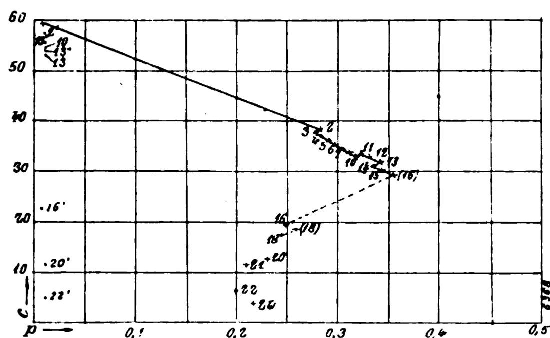


Fig. 3.

entre ces surfaces, l'épaisseur et par suite la résistance de cette couche diminue par l'effet de l'attraction électrostatique. Cette attraction diminue quand on diminue la différence de

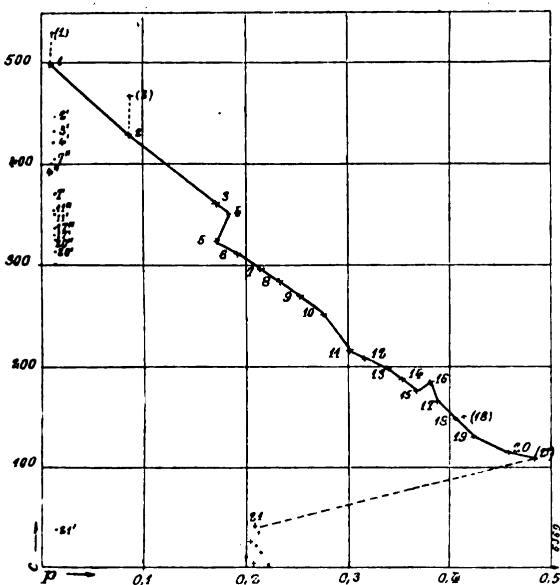


Fig. 4.

potentiel, la couche reprend une épaisseur plus grande en raison de son élasticité et la résistance augmente : elle ne reprend pas tout à fait sa valeur primitive, parce que la couche intermédiaire n'est pas parfaitement élastique.

La différence de potentiel critique est celle qui suffit à provoquer la rupture de la couche intermédiaire et à établir le contact réel entre les pièces métalliques. Une différence de potentiel plus grande peut provoquer une nouvelle rupture et une nouvelle diminution de la résistance.

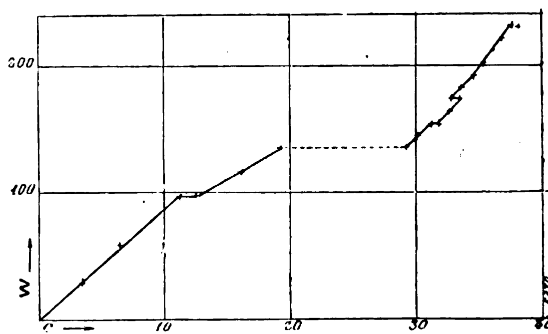


Fig. 5.

On peut produire artificiellement une telle couche intermédiaire, en interposant du pétrole ou en oxydant les surfaces. La différence de potentiel critique croît avec l'épaisseur de la couche d'oxyde. On obtient des résultats analogues avec des contacts en zinc.

Cohéreur à contacts multiples. — La diffé-

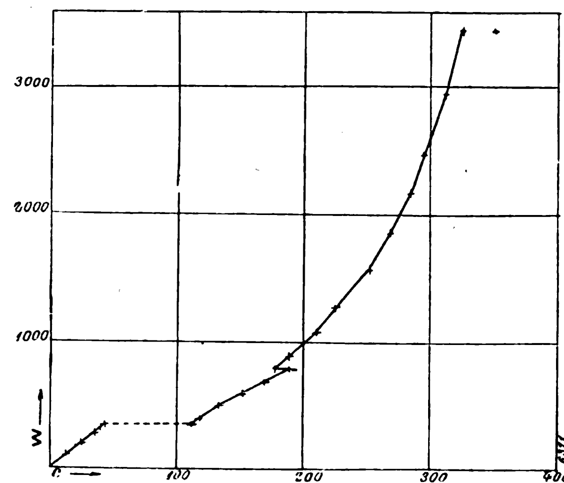


Fig. 6.

rence de potentiel critique, quand il y a plusieurs contacts en série est généralement plus petite que la somme des différences critiques relatives à chacun des contacts : elle n'a pas de valeur déterminée.

La différence de potentiel d'équilibre est proportionnelle au nombre des contacts.

B. *Effet des ondes électriques.* — Il est vrai_

semblable que les ondes électriques amènent la résistance du cohéreur à la même valeur

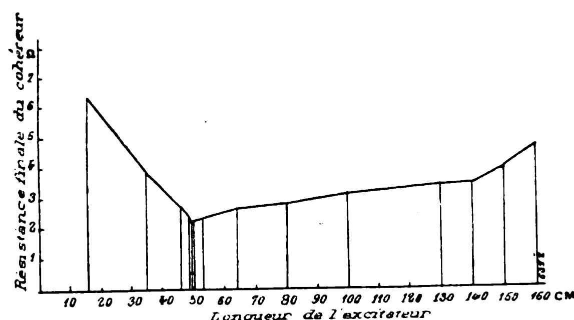


Fig. 7.

qu'une différence de potentiel continue, supérieure à la différence critique.

Fatigue du cohéreur. — La résistance d'un

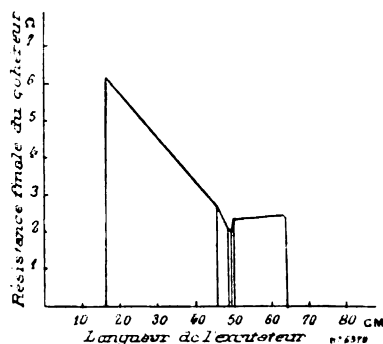


Fig. 8.

cohéreur à contact d'acier soumis quelque temps à l'action des ondes électriques devient très

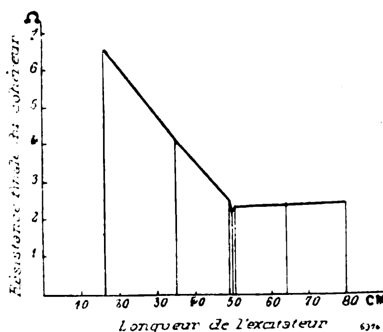


Fig. 9.

irrégulière, et après avoir pris des valeurs très petites, redevient notablement plus grande : le cohéreur est « fatigué ». Cette fatigue disparaît et le cohéreur recommence à prendre des résistances faibles et régulières, quand on a passé à

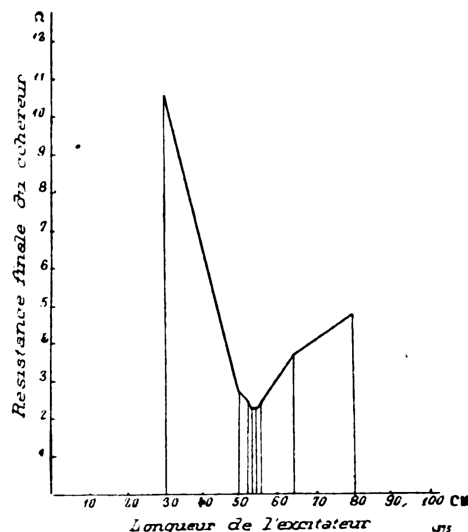


Fig. 10.

l'émeri les surfaces de contact et qu'on les a laissé s'oxyder légèrement. La différence de

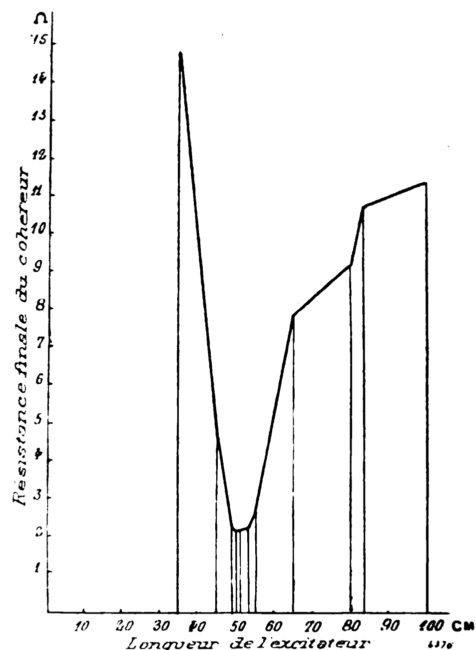


Fig. 11.

potentiel critique est plus grande pour le cohéreur fatigué. Cette fatigue du cohéreur ne se produit pas sous l'action du courant continu.

II. Expériences de résonance. — Les ondes sont émises par un excitateur rectiligne dont on diminue progressivement la longueur. Le récepteur a la même forme et le cohéreur est inséré dans son circuit. Après chaque émission d'ondes, on mesure la résistance du cohéreur et la différence de potentiel critique. On trace ensuite une courbe dont les abscisses représentent les longueurs de l'excitateur et les ordonnées les résistances du cohéreur après qu'il a subi l'action des ondes. Ces courbes sont reproduites sur les figures 7 à 11. Elles présentent un minimum très net, qui correspond à la résonance. La forme de ces courbes permet même de se faire une idée de la grandeur de l'amortissement : plus le minimum est prononcé, moins est grand l'amortissement.

La capacité du cohéreur, d'après ces expériences, est toujours très grande et le cohéreur agit à très peu près comme un conducteur parfait : en effet au moment de la résonance, la longueur du récepteur est égale sensiblement à celle de l'excitateur.

Effet des vibrations acoustiques. — Les cohéreurs sont sensibles aussi aux vibrations acoustiques : le contact à pointe d'aiguille réagit même au bruit de la voix ou à des bruits éloignés. Mais l'effet des ondes acoustiques est beaucoup moindre que celui des ondes électriques.

M. L.

ÉCLAIRAGE

Arc électrique et spectre des métaux, par **P. Lenard**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 636-651, juillet 1901.

Les spectres d'émission des corps simples représentent les vibrations que les atomes qui constituent ces corps sont susceptibles d'effectuer. En présence du nombre énorme de raies qui composent le spectre complet d'un métal, on est en droit de se demander si réellement chaque atome de l'élément effectue à chaque instant toutes ces vibrations possibles.

D'après les travaux de Kayser et Runge et de Rydberg, les lignes spectrales peuvent se grouper en séries régulières : mais le nombre des lignes dans chaque série est infini. Les lignes du spectre tout entier seraient donc en nombre plusieurs fois infini et il est impossible d'admettre qu'il existe dans l'atome pour chaque ligne spectrale une portion vibrant séparément. Bien plutôt on peut penser avec Zeeman et Lorentz que toute une série est produite par un seul système vibrant et qu'il suffit d'admettre dans l'atome un nombre de systèmes égal à celui des séries. La question serait donc de savoir si chaque atome renferme autant de systèmes vibrants distincts qu'il y a de séries dans son spectre ou s'il émet simultanément toutes les séries.

Les observations suivantes permettent de donner à cette question une réponse négative.

On forme une image réelle aussi petite que possible d'un arc électrique dans le plan focal du collimateur d'un spectroscope dont on a enlevé la fente. Dans la lunette, on verra autant d'images de l'arc que la lumière renferme de lignes spectrales et chacune de ces images représente exactement la répartition dans l'espace des centres d'émission de la radiation correspondante.

Avant de décrire les phénomènes qu'on observe alors il convient de signaler quelques particularités dans l'aspect de l'arc électrique, regardé à l'œil nu ou à travers un verre fumé.

L'arc est formé de deux flammes, issues chacune de l'un des charbons et qui tendent à se rejoindre : elles se confondent plus ou moins. Plus l'intensité du courant est grande, plus ces flammes sont développées et moins elles se confondent. Si le courant est très faible, c'est la flamme partie du charbon inférieur qui forme la partie principale de l'arc. La flamme partie du charbon supérieur est refoulée par le courant d'air ascendant, si bien que seul un appendice latéral trahit l'existence de deux flammes de sens opposés, mais dont les axes ont des directions un peu différentes.

Quand l'intensité est grande (15 ampères), les flammes se développent toutes deux, sont à peu près indépendantes l'une de l'autre et se déplacent en suivant leur point d'attache avec le charbon. Souvent elles passent à côté l'une de l'autre, se touchant seulement par un point : lorsque ce contact cesse, l'arc s'éteint.

Ces phénomènes sont nets surtout quand on donne à l'arc une longueur beaucoup plus grande que ne le comportent les régulateurs employés dans l'éclairage.

Si l'arc électrique renferme du sodium, les flammes correspondant à la série principale sont les plus grandes : elles ont la grandeur de l'arc lui-même. Les flammes de la première série secondaire sont notablement plus petites,

celles de la deuxième série, plus petites encore.

Il en est de même pour l'arc renfermant du lithium. S'il y a à la fois du sodium et du lithium, les flammes des séries correspondantes Na_α et Li_α par exemple, ou les flammes jaune vert et jaune du lithium ont à très peu près la même grandeur.

Il résulte de ce qui précède que les flammes de la série principale doivent se toucher, sous peine d'extinction de l'arc, tandis que les flammes des autres séries peuvent être séparées par un intervalle obscur plus ou moins grand (Na série II, lignes 4 et 5). Cependant il peut arriver aussi que dans les séries secondaires les flammes supérieure et inférieure soient plus ou moins confondues (Li I, 6 et II, 6). L'émission lumineuse du métal est donc liée, non pas à la trajectoire du courant, mais à la forme de la flamme.

On pourrait être tenté d'attribuer les différences de grandeur des flammes aux différences d'intensité dans l'émission. L'égalité de grandeur des flammes d'une même série rend déjà cette hypothèse peu probable. D'autre part, en modifiant les rapports d'intensité des flammes par des milieux absorbants on n'arrive jamais à renverser l'ordre de grandeur.

Cette même observation prouve aussi que les différentes séries ne sont pas émises par des couches différentes de la flamme, de plus en plus éloignées de la surface. Dans ce cas, on arriverait par les absorbants, à réduire la flamme à des dimensions aussi faibles qu'on le voudrait. Or, quand on affaiblit la lumière de plus en plus, la flamme diminue bien jusqu'à une certaine grandeur, mais s'éteint ensuite complètement. L'émission atteint donc son maximum à une profondeur très faible au-dessous de la surface.

En fait, les flammes de toutes les séries paraissent creuses ; dans chacune il n'y a qu'une mince écorce lumineuse, tandis que l'intérieur est aussi obscur que peut l'être un espace non lumineux vu à travers une enveloppe lumineuse. La figure 1 représente l'aspect de la flamme correspondant à la série principale du lithium. La cavité intérieure ne se voit nettement que si la lumière n'est pas trop intense, ce qui tient aux propriétés de l'œil. On la fait apparaître en affaiblissant la lumière, par exemple, à l'aide d'un disque tournant percé de fentes étroites. Les flammes de la série principale qui sont les plus grandes sont aussi celles qui ont la plus grande cavité intérieure. Les flammes de la première série secondaire sont telles qu'elles remplissent à peu près exactement cette cavité. Les flammes de la deuxième série secondaire remplissent à leur tour la cavité des précédentes ; l'intérieur reste obscur. Quand les conditions dans lesquelles se produit l'arc changent, toutes les flammes changent simultanément de forme et de grandeur, de sorte que ce qu'on vient de dire s'applique toujours.

Il est à remarquer que les différentes zones de la flamme occupent simultanément certaines régions, entr'autres, le point d'attache de la flamme sur le charbon. Ce point est aussi le plus brillant dans toutes les flammes observées dans le spectroscope. Dans chaque zone l'intensité d'émission paraît avoir son maximum à une distance déterminée de l'axe et décroître ensuite rapidement jusqu'à zéro.

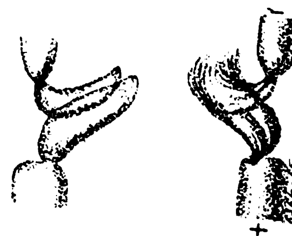


Fig. 1 et 2.

L'arc renfermait outre le sodium et le lithium d'autres métaux provenant des impuretés et dont le spectre était visible. Dans aucune des flammes la cavité intérieure ne faisait défaut. Le spectre compliqué des métaux alcalino-terreux semble présenter des degrés de grandeur plus nombreux que celui des métaux alcalins.

Il est évidemment possible de grouper les raies d'un spectre d'après l'ordre de grandeur des flammes. Ce groupement ne correspond pas forcément à ceux qui sont adoptés aujourd'hui (spectre du calcium, par exemple).

Quand l'arc ne contient pas de métal, la flamme a sans doute la même constitution. Mais le spectroscope sans fente ne convient plus à l'observation. On a affaire à un spectre de bandes, qui par une forte dispersion se résolvent en lignes extrêmement rapprochées. On aperçoit alors un grand nombre de flammes qui se

recouvrent en grande partie. Il faut faire une exception pour les premières bandes indigo de la série du cyanogène, qui se prêtent très bien à l'observation en raison de leur éclat.

Dans aucun cas, on n'observe dans ces flammes de cavité intérieure. Elles paraissent plutôt occuper l'espace qui ne prenait pas part à l'émission métallique. Si on introduit un peu de lithium dans l'arc, les bandes du cyanogène quelque peu affaiblies apparaissent sous la forme de deux flammes, dont la positive est plus brillante que la négative : ces flammes remplissent exactement la cavité intérieure de la flamme Li II. Si on provoque la réunion des deux flammes, celles du lithium Li II prennent la forme de filaments creux et celles du cyanogène la forme de filaments pleins très fins, réunissant les deux charbons et occupant la cavité des premiers.

En faisant usage de la méthode de Lockyer, on constate que l'arc exempt de métal émet par sa partie centrale les raies du carbone à côté de celles du cyanogène, tandis que ces raies font défaut dans la lumière émise par la zone qui entoure cette partie centrale. Cette zone elle-même se décompose en deux : une intérieure, dont le spectre renferme de fines raies, parmi lesquelles se détachent deux raies vertes ; une extérieure dont le spectre présente des maxima d'éclat ($\lambda = 576$, 548, 517, 491 10^{-6} mm) et des minima.

Les flammes creuses des séries métalliques s'aperçoivent aussi sans le secours du spectroscope quand on observe l'arc à travers des milieux absorbants appropriés. Ainsi, à l'aide d'un mélange d'indigo et de chlorure ferrique, on intercepte toutes les raies du lithium sauf Li_α. La flamme paraît alors nettement creuse. Si les flammes positive et négative se mélangent, là un filament brillant apparaît dans la partie centrale obscure : ce filament appartient sans doute au spectre de l'arc pur (fig. 2).

Une solution de chlorure de nickel fait disparaître cette région centrale et ne laisse passer que Li_α : une solution éthérée de chlorophylle produit l'effet inverse en supprimant la zone extérieure pour ne laisser passer que la partie centrale.

Dans toutes ces observations, il importe que l'émission des diverses raies soit uniforme et par suite, il faut employer des sels peu volatils.

Le spectre du sodium se compose de doublets, ce qui oblige à employer de faibles dispersions : avec de grandes dispersions, les flammes sont dédoublées, mais se recouvrent en grande partie. D'une manière générale, on ne réussit pas à séparer les centres d'émission de ces doublets.

Le spectre du sodiun donne lieu à quelques remarques particulières. Souvent ce spectre montre une troisième série d'images de la flamme, dont les éléments sont placés à côté de ceux de la première série, vers le violet, à des distances qui décroissent régulièrement. Ces flammes de la troisième série paraissent se placer dans la cavité des flammes de la deuxième : elles-mêmes ne montrent aucune cavité intérieure. Parfois, on observe encore d'autres radiations, qui dans le spectroscope sans fente se présentent sous la forme de petites protubérances à la surface du charbon positif.

D'après l'ensemble des observations qui précèdent, chaque atome de métal en traversant les diverses zones de la flamme, passe par différents états qui sont en nombre au moins égal à celui des séries de raies que contient son spectre. Ces états différents ne résultent pas de la répartition du courant électrique, car leur distribution dans l'espace est liée à la forme des flammes, laquelle est indépendante des lignes de courant et paraît dépendre plutôt des phénomènes chimiques.

Les seules observations à rapprocher de celles qui viennent d'être décrites sont celles de Schuster et de Hemsalech. D'après ces physiciens, les centres d'émission de certaines raies du bismuth doivent avoir une vitesse de 1 400 m : sec, tandis que pour d'autres raies, cette vitesse serait 400 m : sec. Ces centres d'émission ne peuvent donc être identiques et pourtant, tout indique qu'on doit les considérer les uns et les autres comme des atomes de bismuth.

Il ne semble pas nécessaire d'admettre la divisibilité des atomes, mais il est à supposer plutôt que dans tous les centres d'émission, l'atome existe dans son intégrité.

M. L.

Les derniers modèles de lampes Nernst (modèles A et B), par **Oskar Bussmann**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 281, 9 avril 1903.

Nouveaux essais sur les filaments Nernst : Essais de durée. Essais sur les nouveaux modèles de lampes Nernst et leur comparaison avec les lampes à arc à faible courant, par le professeur **W. Wedding**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 442, 4 juin 1902.

Nous avons tenu nos lecteurs au courant des innovations et perfectionnements [1] que la sagacité des chercheurs avait su apporter, depuis trois ans, dans la composition et la fabrication des filaments genre Nernst. De son côté, la Société A. E. G., qui détient les brevets proprement dits, a poursuivi ses recherches avec une persévérante ténacité et elle semble sur le point de recueillir le fruit de ses efforts et de ses sacrifices. C'est du moins l'impression qui se dégage des renseignements que nous puisons dans deux conférences faites devant le Verband Deutscher Elektrochniker, l'une par M. Oskar Bussmann qui s'est surtout attaché à décrire le mécanisme des lampes et l'autre par le professeur Wedding qui s'est livré sur le filament à des essais de durée, de rendement et de comparaison avec les lampes à arc à faible courant. La méthode suivie par ce dernier savant mérite d'être décrite avec détail ; ses résultats confirment d'ailleurs en tous points les chiffres publiés de différents côtés sur la puissance lumineuse et la faible consommation spécifique du filament Nernst : on peut les adopter dorénavant comme les constantes caractéristiques de ce type de corps incandescents.

I. Description des lampes. — Les lampes Nernst se construisent actuellement suivant deux types ; le type A (grand modèle) est destiné à se substituer aux petites lampes à arc de 1 à 3 ampères ; le type B (petit modèle) remplace les lampes à incandescence ordinaires. Les deux parties constituantes d'une lampe sont : le *brûleur* qui comprend le filament lumineux et le corps de chauffage ; le *mécanisme* qui comprend l'interrupteur de courant et la résistance de compensation. Le filament lumineux, le corps de chauffage et la résistance sont identiques pour les deux modèles. Nous donnerons d'abord tous les détails qui les concernent ; puis nous décrirons le mécanisme propre de chaque lampe.

1. *Filament lumineux.* — On sait qu'il est constitué par un conducteur électrolytique ou conducteur de seconde classe formé d'oxydes de zirconium, de thorium et d'autres corps appelés « terres rares ». Le caractère distinctif de ces conducteurs est d'opposer une si grande résistance au passage du courant à la température ordinaire qu'on peut pratiquement les considérer comme des isolants parfaits.

A la température de 600° seulement ils acquièrent une conductibilité sensible ; ceci explique la nécessité de leur adjoindre un système de chauffage qui les porte au rouge avant de pouvoir être utilisés comme corps lumineux.

Ces corps incandescents s'emploient sous forme de filaments ou de tubes rectilignes : de 20 mm de longueur et 0,4 mm de diamètre pour une lampe de 0,25 ampère et 200 volts ; de 30 mm de longueur et 1 mm de diamètre pour une lampe de 1 ampère et 200 volts. Plus rarement on les recourbe en fer à cheval. Leur jonction au circuit a lieu par l'intermédiaire d'un fil de platine qu'on enroule plusieurs fois autour de l'extrémité et qu'on recouvre ensuite d'une pastille de même matière que le filament.

2. *Corps de chauffage.* — Celui-ci est formé d'une sorte de porcelaine dont la composition est un secret de fabrication ; on le prépare d'abord à l'état de baguettes de 10 à 20 cm de longueur, 1 mm de diamètre, autour desquelles on enroule un fil fin de platine. Le tout est recouvert d'un enduit réfractaire qui sert à maintenir le fil de platine en contact permanent avec le chauffeur. En ramollissant ensuite le bâtonnet à la flamme du chalumeau, on peut lui donner diverses formes parmi lesquelles les plus favorables sont : l'enroulement hélicoïdal à spires écartées au centre desquelles on place le filament rectiligne (fig. 1, modèle A et fig. 2, modèle B) ; la courbure en sinuosités (fig. 3) ; ou encore, mais plus rarement, l'enroulement en spires allongées très serrées qui ne s'emploie que pour le filament replié en fer à cheval (fig. 4). Le corps de chauffage absorbe 30 watts dans les petits modèles et 100 watts dans les grands modèles.

[1] Voir notamment dans la littérature des périodiques de *L'Éclairage Électrique* : t. XXVII, p. XXXII et 290 ; t. XXIX, p. II et 223 ; t. XXX, p. XCVII, CLVII ; t. XXXI, p. LIII, LIV, CXXII ; t. XXXII, p. CXXVI, CXXVII, etc.

3. *Résistance de compensation* [1]. — Les conducteurs de seconde classe sont d'une sensibilité extraordinaire aux moindres écarts de vol-

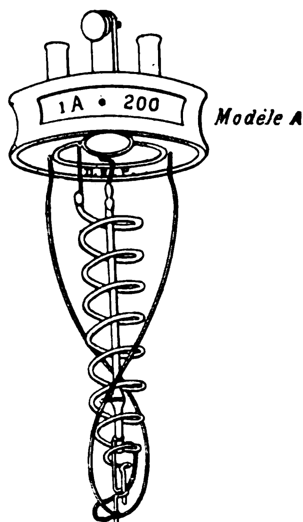


Fig. 1.

tage du circuit de distribution qui les mettent rapidement hors d'usage, de sorte qu'ils seraient presque inutilisables comme corps éclairants, si on ne leur adjoignait une résistance capable de

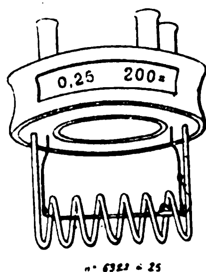


Fig. 2.

compenser les variations de tension du réseau [1].

Relions les deux bornes d'une lampe Nernst à une source d'électricité dont on fera décroître progressivement la tension. Nous reconnaîtrons de suite qu'il existe un voltage minimum au-dessous duquel le filament, rendu préalablement conducteur par la spirale de chauffage, ne peut conserver sa conductibilité et par suite son éclat. Il existe également une tension limite supérieure (tension critique) pour laquelle le courant commence à croître d'abord un peu, puis de plus en plus rapidement jusqu'à atteindre une intensité susceptible de provoquer la fusion

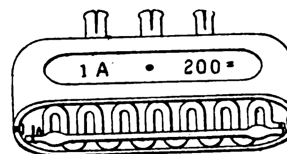


Fig. 3.

du filament quand il n'est pas protégé par une résistance. Ces limites varient d'un filament à un autre. La courbe I de la figure 5, relative à une lampe de 0,25 ampère non compensée, montre que la tension critique a lieu vers 200 volts quand l'intensité est de 0,3 ampère. A partir de ce moment, elle reste presque constante; elle aurait même une légère tendance à décroître, tandis que l'intensité monte rapidement.

L'effet de réglage de la résistance ajoutée doit donc être tel que son accroissement de résis-

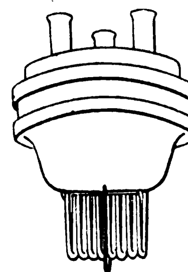


Fig. 4.

tance atteigne et même dépasse la diminution correspondante de la résistance du filament. Elle maintient ainsi, entre des limites aussi larges que possible de la différence de potentiel, l'intensité à une valeur pratiquement constante.

Dès les débuts la A. E. G. avait reconnu que, de tous les métaux, le fer était le plus apte à remplir ce rôle d'auto-régulateur à cause de son coefficient de température élevée. Pour le préserver de l'oxydation, on le renferme, comme le montrent les schémas des figures 7 et 9, dans une ampoule d'hydrogène à pression variable.

[1] MM. Laporte et Léonard ont étudié et précisé d'une façon très complète le rôle de cette résistance; leurs conclusions, conformes à celles de l'auteur allemand, restent toujours applicables aux lampes actuelles. *Rapports du Jury international*, (classe 25, Eclairage électrique), p. 210.

On a constaté, en effet, que l'échange de chaleur entre le fil et le milieu ambiant était fonction de la pression ; on utilise cette propriété pour terminer le réglage de la lampe une fois montée. La courbe II de la figure 5 résume les

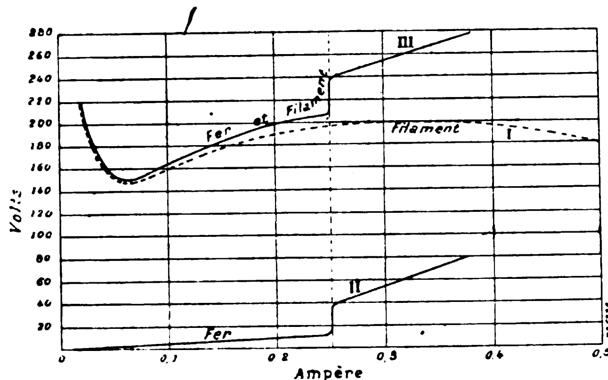


Fig. 5.

résultats obtenus avec une de ces résistances en fil de fer aux bornes de laquelle on faisait varier la différence de potentiel en même temps que l'on mesurait l'intensité du courant qui la traversait ; pour 0,25 ampère, elle absorbe 15 volts.

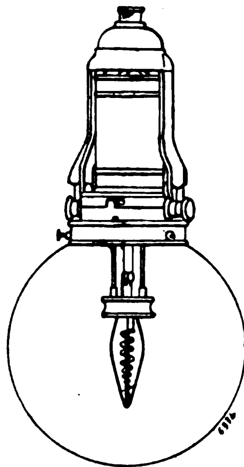


Fig. 6.

Mettons-là en série avec un conducteur Nernst, la courbe caractéristique I de celui-ci prend une allure tout autre, c'est-à-dire celle de la courbe III; celle-ci se déduit d'ailleurs de I en y ajoutant les ordonnées de II. Le filament consomme à peu près 0,25 ampère et son voltage reste sensiblement voisin de 200 volts, alors même que la différence de potentiel aux bornes de la lampe croît jusqu'à 240 volts. L'excès est à chaque moment et presque instantanément absorbé par le fil de compensation. Ainsi s'explique l'éclairement plus constant de la lampe Nernst en comparaison de la lampe à filament de carbone.

Lampe A (grand modèle). — Elle est représentée en vue et en schéma par les figures 6 et 7. Le filament f et la spirale de chauffage c sont adaptés à un plateau en porcelaine P pour-

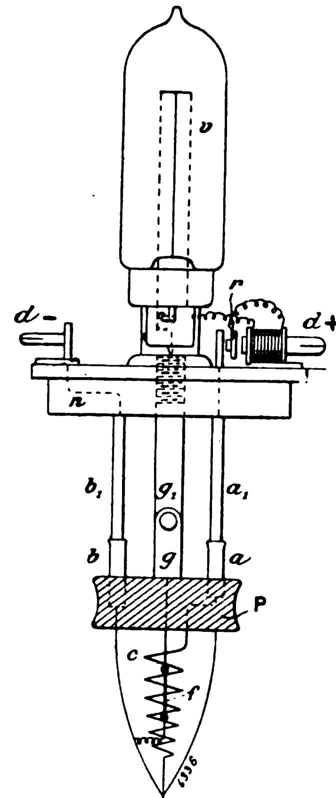


Fig. 7.

vu de trois pièces de contact, à savoir : 2 douilles a et b et une pièce plate en laiton g munie d'une vis de serrage s. Ces parties correspondent aux pièces a_1, b_1 et g_1 de la lampe proprement dite. Le brûleur est fixé sur la lampe et immobilisé par le serrage de la vis s.

La résistance en fer v est reliée à la lampe par une petite douille à baïonnette analogue à celle employée pour les lampes à incandescence ordinaires.

Le courant est amené à la lampe par la broche $d+$. Ce courant passe dans la lame à ressort de l'électro-aimant e, traverse par la baguette a_1 la spirale de chauffage et se rend par n à la broche d.

Dès que le circuit est fermé la spirale de chauffage devient rouge sombre.

Après 20 ou 30 secondes, le filament a atteint la température à partir de laquelle il devient conducteur et le circuit va alors de la broche $d+$

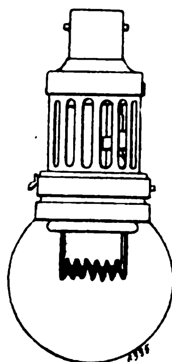


Fig. 8.

dans la bobine de l'électro-aimant *e*, dans la résistance *v*, le contact *g*, le filament *f* et revient par la borne *d* — à la canalisation. Dès que le courant qui traverse l'électro-aimant a atteint

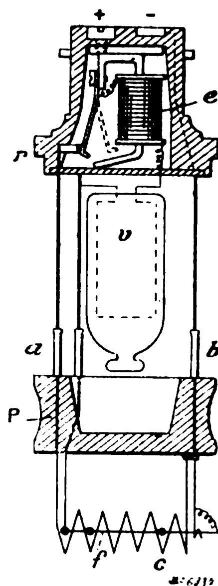


Fig. 9.

l'intensité suffisante, le contact à ressort est attiré par l'aimant de l'électro et le courant de chauffage est coupé en *r*. Le filament lumineux est disposé verticalement.

Lampe B (*petit modèle*). — Cette lampe s'adapte sur des douilles à baïonnette comme la lampe à incandescence ordinaire et peut aussi être construite pour douilles à vis. Les figures 8 et 9 en donnent la vue d'ensemble et le schéma sur lequel on a conservé les mêmes lettres que pour les parties correspondantes de la lampe A. Les conditions de fonctionnement de la lampe B sont identiques à celles indiquées pour la lampe A. Le courant est amené par la vis marquée +, passe dans la lame de l'électro-aimant, traverse la broche *a*, la spirale de chauffage *c* et revient au contact du culot marqué — par la tige *b*.

Dès que le filament devient conducteur, le courant passe dans la bobine de l'électro-aimant *e*, dans la résistance *v*, dans le filament *f* et revient par la tige *b* au contact marqué —, tandis que le courant de chauffage est coupé en *r*.

Le filament lumineux horizontal est tourné soit en haut, soit en bas.

Les lampes actuellement dans le commerce sont établies pour des intensités de courant de 0,25 — 0,50 et 1 ampère et des tensions comprises entre 100 et 150, 200 et 250 volts.

II. Expériences du professeur Wedding. — Ces expériences destinées à éprouver la durée de vie des filaments Nernst ont été réalisées dans des conditions aussi voisines que possible des conditions normales de fonctionnement. Comme nous l'avons dit plus haut, ce sont les fluctuations de voltage qui jouent le rôle principal dans l'existence des filaments et à ce point de vue la petite station centrale qui dessert les laboratoires et ateliers de l'Institut Electrotechnique de Charlottenbourg offrait une variété de régime si dure que pas une des lampes étudiées dans le courant de novembre 1902 ne put y résister plus de quelques heures.

Les effets des écarts de voltage trop considérables se traduisent de manière bien différente. Si l'accroissement de tension est brusque et un peu durable, c'est le fil de fer qui brûle ou du moins se ramollit assez pour perdre toute rigidité ; il tombe sur les parois de l'ampoule qu'il échauffe jusqu'à la fondre. Quand la tension est trop faible, c'est alors le filament lui-même qui court des dangers.

Essai 1. — Il a été fait sur 12 lampes de 1 ampère et 220 volts, dont 7 ont été instantanément mises hors d'usage. Au bout de 50 heures, tout le lot était détruit.

Essai 2. — On a donc limité les écarts de voltage à ± 10 volts par l'adjonction d'un régu-

lateur Thury. Comme cette limite était encore bien large (les écarts d'un réseau d'éclairage atteignant à peine 2 p. 100), il fallait ne pas la dépasser ; à cet effet on avait adapté au régulateur un dispositif qui actionnait une sonnerie aussitôt que la tension approchait de 210 ou 230 volts. Un aide avait pour mission d'agir sur

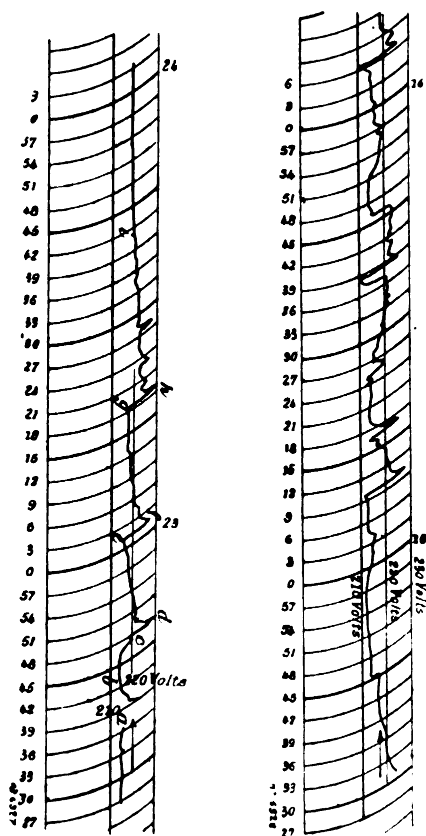


Fig. 10 et 11.

les rhéostats dès qu'il entendait le signal afin de ramener la tension à la valeur voulue. De 8 heures du matin à 8 heures du soir les lampes recevaient directement le courant de la génératrice ; pendant la nuit on les branchait sur la batterie d'accumulateurs ; la tension de celle-ci variait du reste très peu dans l'intervalle de 8 heures du soir à 8 heures du matin.

Les courbes des figures 10 et 11 relevées sur un voltmètre enregistreur donnent une idée de l'importance des variations de voltage et de l'action régulatrice de l'appareil Thury. Le premier diagramme, de *a* vers la gauche, est relatif au cas où les lampes reçoivent le courant de la batterie et que la tension est trop forte ; dans le deuxième, c'est la génératrice qui fonctionne, mais à un régime inférieur à 220 volts, comme le cas se présente souvent pendant les matinées brumeuses d'hiver où on a besoin d'un éclairage intense dans les salles de dessin et de conférence.

Dans ces conditions, certainement plus défavorables que celles des réseaux ordinaires, on mit un nouveau lot de 12 lampes à l'essai ; au bout de 93 heures, il y en avait déjà 9 qui ne fonctionnaient plus.

Essai 3. — Il a été entrepris dans le courant de janvier 1903, sur un lot de 12 lampes à 220 volts ; 6 d'entre elles (1, 2, 3, 4, 5 et 6) étaient munies d'une résistance de compensation pour 30 volts ; les 6 autres (7, 8, 9, 10, 11 et 12) pour 20 volts. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-contre. A des époques déterminées, on relevait l'intensité du courant I à la tension V = 220 volts et en même temps on faisait des mesures photométriques suivant deux directions opposées dans le plan horizontal ; la moyenne de ces dernières mesures est représentée en Hefners par K dans le tableau. La consommation spécifique est donnée par le quotient $\frac{VI}{K} = a$. On a également réservé deux colonnes où sont consignées les moyennes K_m et A_m correspondant à chacun des deux groupes de 6 lampes.

Il ressort de ce tableau que les lampes munies d'une résistance pour 20 volts, c'est-à-dire les lampes à haut voltage, ont mieux résisté aux essais que les autres. Au bout de 600 heures, il en restait 4 sur 6 ; d'autre part, après 550 heures de fonctionnement, l'intensité initiale avait diminué de moitié. Tous ces résultats sont résumés dans les courbes de la figure 12 où on a porté en abscisses les temps ; en ordonnées, les intensités moyennes K_m et les consommations spécifiques moyennes a_m. Les courbes en traits pleins se rapportant aux lampes munies d'une résistance de compensation pour 20 volts ; celles en traits ponctués, aux lampes avec réglage pour 30 volts. Ce dernier type ne se construit plus.

Essai 4. — C'est l'essai définitif sur la durée de vie des lampes Nernst. Il a été entrepris sur une série de 12 lampes de 1 ampère et 220 volts (modèle A, filament vertical), sans se préoccuper d'ailleurs de l'intensité lumineuse et de la con-

TABLEAU I

N° des lampes.	DURÉE d'allumage.	VOLTAGE V.	INTENSITÉ I.	CONSOMMATION en watts VI.	INTENSITÉ lumineuse K.	CONSOMMATION spécifique $\frac{VI}{K} = a$.	INTENSITÉ lumineuse moyenne K_m.	CONSOMMATION spécifique moyenne a_m.	OBSERVATIONS
1		220	1,042	229,5	141,3	1,627			
2		»	1,001	221,2	131,8	1,681			
3		»	1,025	225,5	142,0	1,589	136	1,64	Résistance de compensation pour 30 volts.
4		»	0,998	219,5	128,0	1,712			
5		»	0,980	215,5	135,8	1,590			
6	0	»	0,997	219,4	133,8	1,645			
7		»	1,060	233,0	163,4	1,428			
8		»	1,045	230,0	154,2	1,493			
9		»	1,020	224,4	157,9	1,426	158	1,46	Résistance de compensation pour 20 volts.
10		»	1,052	231,5	161,3	1,437			
11		»	1,052	231,5	146,5	1,582			
12		»	1,060	233,0	168,8	1,383			
1		220	1,045	229,9	145,2	1,584			
2		»	0,993	218,4	132,4	1,652	140	1,58	Lampe 3 brûlée au bout de 19 heures.
4		»	1,010	222,2	139,6	1,597			
5		»	0,979	215,4	141,6	1,524			
6		»	1,015	223,3	142,5	1,570			
7	47,5	»	1,048	230,5	164,9	1,401			
8		»	1,038	228,3	143,9	1,590			
9		»	1,011	222,2	161,0	1,385			
10		»	1,040	228,8	159,2	1,440	156	1,46	
11		»	1,030	226,6	151,6	1,499			
12		»	1,047	230,3	157,0	1,470			
1		»	1,045	230,0	132,2	1,740			
2		»	0,972	213,8	115,8	1,844			
4		»	1,030	226,0	135,3	1,678	132	1,68	
5		»	1,000	220,0	142,3	1,549			
6		»	0,970	213,4	134,2	1,590			
7	142	»	1,022	224,4	151,4	1,484			
8		»	1,025	225,5	145,0	1,558			
9		»	0,920	202,4	121,3	1,670			
10		»	0,960	211,2	130,1	1,626	133	1,63	
11		»	0,921	202,6	112,4	1,803			
12		»	1,015	223,3	141,4	1,579			
1		»	0,989	217,6	129,3	1,672			
2		»	0,980	215,6	133,9	1,614	133	1,59	Lampe 6 brûlée au bout de 159 h. » 4 » » de 189 h.
5		»	0,939	206.6	138,5	1,496			
7	274	»	0,953	209,6	134,5	1,560			
8		»	0,990	217,8	131,5	1,659			Lampe 9 brûlée au bout de 197 h. » 11 » » de 209 h.
10		»	0,910	200,2	112,5	1,692	127	1,66	
12		»	0,973	214,0	129,0	1,662			
5		»	0,808	177,1	94.0	1,888	94	1,66	Lampe 2 brûlée au bout de 315 h. » 1 » » de 431 h.
7	431	»	0,887	195,1	100,3	1,942			
8		»	0,922	202,8	108,9	1,868			
10		»	0,820	180,4	80,5	2,240	101,2	1,95	
12		»	0,920	202,4	115,2	1,758			
5		»	0,700	154,0	70,8	2,18	70,8	2,18	
7		»	0,779	171,2	80,6	2,12			Lampe 10 brûlée au bout de 603 h. » 12 » » de 694 h. » 7 » » de 759 h.
8		»	0,800	176,0	84,4	2,09	68,4	2,48	
10		»	0,645	141,9	43,8	3,25			
12		»	0,738	162,2	84,8	2,50			

sommation d'énergie. Mais on a cherché à serrer encore de plus près les conditions ordinaires de la pratique en interrompant l'allumage à des intervalles déterminés. Il est certain, en effet, que les dilatations et contractions successives des organes échauffés, doivent avoir une influence considérable sur la durée des lampes et seule l'expérience pouvait trancher la question. Le tableau II donne les résultats de ce quatrième essai, où la dernière colonne précise la partie défectueuse ; les expressions filament (inférieur) et filament (supérieur) indiquent les soudures en haut et en bas, puisque nous considérons des lampes modèle A avec filament vertical.

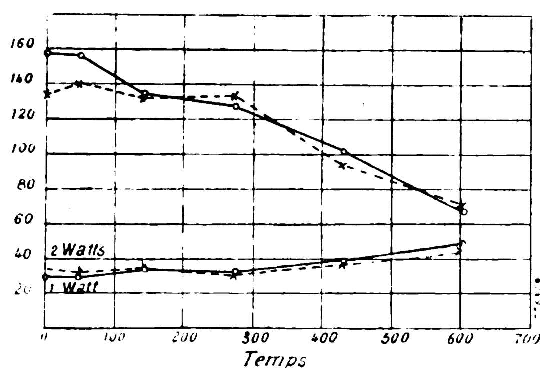


Fig. 12.

Ce n'est qu'après 300 heures que les lampes commencent à se détruire rapidement ; après 863 heures, la moitié des brûleurs est hors d'usage ; les soudures du filament semblent les points faibles.

M. Wedding en conclut, pour une lampe Nernst modèle A, une durée moyenne de 730 heures.

Cette vitalité montre les progrès considérables réalisés depuis trois ans ; elle répond pour le moment à tous les besoins de la pratique.

Essais sur le modèle le plus récent de lampe Nernst. — Dans les modèles que nous avons décrits ci-dessus, on peut critiquer trois défauts : 1° une faible partie seulement de la chaleur dégagée par la spirale contribue à l'échauffement du filament ; 2° l'enroulement de la spirale autour du filament intercepte une partie notable de la lumière ; et enfin 3° il est difficile de remplacer un filament endommagé par un autre.

Aujourd'hui, on tend à modifier le brûleur de la façon suivante : on écrase la spirale de façon à lui donner une forme en zigzag dont les traits ont de 3 à 5 cm de longueur, et on la fixe à la partie inférieure du plateau de porcelaine. Le filament est appliqué directement contre la spirale et soutenu, en son milieu, par une petite tige solidaire du plateau. Ces lampes sont construites pour 1 ampère et 220 volts.

Tableau II

N° des lampes.	Nombre des extinctions.	Durée de l'allumage en heures.	Organe défectueux
1	30	186	Filament inférieur
2	51	331	» »
3	54	352	Spirale de chauffage
4	61	385	Filament inférieur
5	81	516	Spirale de chauffage
6	101	655	Filament inférieur
7	131	863	» »
8	135	876	» supérieur
9	168	1096	» inférieur
10	170	1117	» supérieur
11	178	1140	» »
12	191	1246	» inférieur

La répartition lumineuse d'une de ces lampes sans globe a été étudiée dans les trois plans suivants :

1° Plan vertical du filament ;

2° Plan vertical à 45° du plan du filament ;

3° Plan vertical à 90° du plan du filament ;

C'est dans la direction de l'axe de la lampe qu'on obtient l'intensité maxima. Cet effet est dû au plateau de matière isolante qui renvoie une

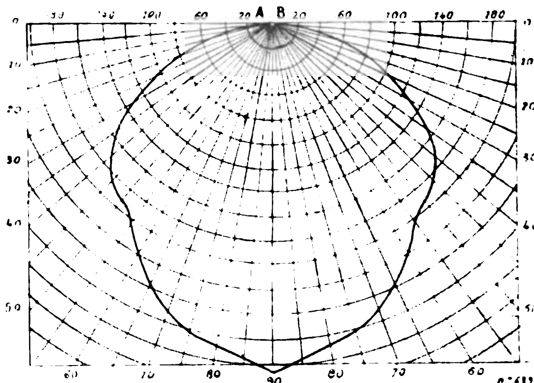


Fig. 13.

partie importante de la lumière vers le bas, mais dans le plan du filament, l'intensité lumineuse horizontale n'est due qu'à la lumière émise par la moitié du filament placée en avant, la partie

postérieure se trouvant masquée par la première. On a effectué dans chaque plan 24 mesures ; puis, par interpolation, on a calculé les intensités lumineuses de 5° en 5° dans chacun des plans. Ce sont ces résultats que nous reproduisons dans le tableau III et les courbes des figures, 13, 14 et 15.

TABLEAU III. — *Nouveau modèle sans globe.*

Tension : 220 volts. Intensité : 0,987 ampères.

ANGLE avec l'horizon.	PLAN vertical du filament.	PLAN VERTICAL à 45° du plan du filament.	PLAN VERTICAL à 90° du plan du filament.
0°	8,5	143	181
5	17,5	142	182
10	39	146	189
15	62,5	151	204
20	86	161	214
25	107	174	219
30	132	183	223
35	157	186	229
40	168	190	234
45	185	206	239
50	191	220	245
55	201	221	258
60	219	223	260
65	235	230	262
70	251	237	263
75	260	242	265
80	269	249	266
85	276	255	268
90	272	272	272
Intensité moyenne hémisphérique .	127	184	221
Consommation spécifique hémisphérique .	1,71	1,18	0,982

Il ne serait pas exact, pour obtenir l'intensité moyenne hémisphérique et la consommation spécifique correspondante, de prendre la moyenne arithmétique des nombres donnés ci-dessus ; d'autre part la détermination des courbes photométriques dans un plus grand nombre de plans verticaux conduirait à des mesures longues et fastidieuses. On a donc tourné la difficulté en réalisant, avec des fils de fer, le solide lumineux qui est l'image de la répartition dans l'espace. On connaissait en effet, d'après le tableau I, la courbe photométrique ou section dans le plan horizontal du filament ainsi que trois sections verticales ; il était facile d'en déduire la forme d'une section horizontale quelconque (celle à 90° du filament se réduisant à un point). On a ensuite construit les sections verticales de 10° en 10° ; et c'est la moyenne fournie par cet ensemble qui a été prise pour l'intensité moyenne hémisphérique ; on l'a trouvée égale à 179,2 bougies Hefner ; la consommation spécifique correspondante est 1,21 watt. Or si nous nous reportons aux moyennes obtenues dans le plan vertical à 45°

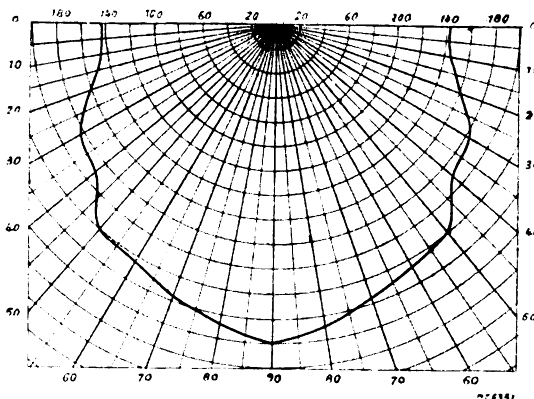


Fig. 14.

(184 bougies et 1,18 watt), nous voyons que les résultats diffèrent si peu que, dans la pratique, on pourra se contenter de prendre comme *moyenne hémisphérique la moyenne relevée dans le plan vertical à 45° du plan du filament.*

Dans ces conditions, on a obtenu les nombres suivants pour une lampe dernier modèle :

	Sans globe	Globe clair	Globe opalin
Intensité moyenne hémisphérique. .	179,2	173	123
Consommation spécifique	1,21	1,26	1,76

L'interposition du globe opalin a produit un affaiblissement presque inadmissible de l'intensité ; il est dû, en grande partie, au pouvoir absorbant trop considérable du verre ; mais il faut bien remarquer que la forme du globe et la position du filament à l'intérieur de celui-ci ne sont pas indifférents au point de vue du rendement lumineux. Par exemple, avec une lampe modèle A à filament vertical, munie successivement d'un globe clair et d'un globe opalin assez transparent, on n'a pu constater aucune différence dans l'intensité moyenne hémisphérique inférieure. L'atténuation générale a été ici compensée dans

ce cas par des réflexions intérieures aux dépens de l'hémisphère supérieur.

Une autre lampe avec spirale de chauffage aplatie, mais construite pour 110 volts seulement, a donné la même consommation spécifique. Le

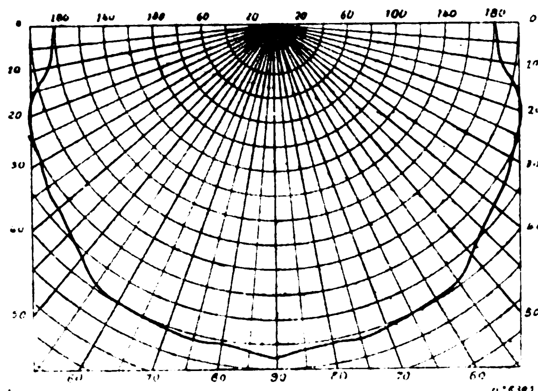


Fig. 15.

brûleur a deux filaments ; l'un est dans l'axe de l'appareil ; l'autre est disposé latéralement. Le premier s'allume d'abord et échauffe le deuxième, de telle sorte que, dans l'intervalle qui sépare ces allumages successifs, la résistance commune de compensation a le temps de s'échauffer et d'acquérir une résistance suffisante. Chaque filament est traversé par un courant de 1 ampère. Pour une intensité de 1,85 ampère, la consommation spécifique a été de 1,46 watt et l'intensité moyenne hémisphérique de 140 bougies Hefner.

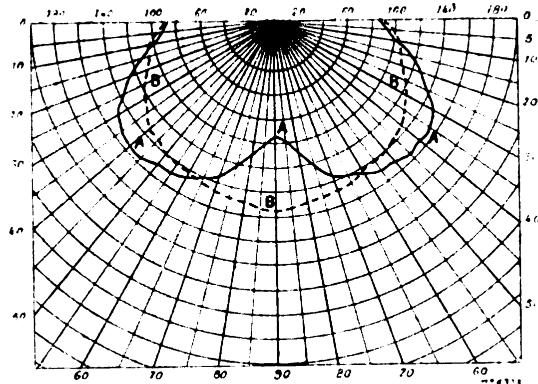


Fig. 16.

Comparaison entre la lampe Nernst et l'arc à faible courant. — On construit aujourd'hui des lampes à arc qui n'absorbent pas plus de 2 ampères et qui peuvent fonctionner directement sur un circuit à 110 volts grâce à une résistance de compensation intercalée dans l'appareil. Elles fournissent une lumière très calme et on les munit toujours de globes très petits [1].

Y a-t-il intérêt à délaisser ces lampes pour les lampes Nernst ou inversement ? Nous donnons dans le tableau IV et la figure 16 (AAA arc, BBB lampe Nernst) le résultat des essais effectués sur une de ces lampes à arc avec globe d'albâtre et une lampe Nernst dernier modèle avec globe opalin. Toutes les deux sont cataloguées pour une consommation de 220 watts.

TABLEAU IV

ANGLE avec l'horizon.	PETITE LAMPE à arc avec globe d'albâtre.	LAMPE NERNST avec globe opalin.
0°	87,5	89
5	93,5	97,5
10	103,0	103,5
15	114,5	107,5
20	126,5	110
25	137,5	119
30	147,5	122,5
35	153	127,0
40	156,5	135
45	152,5	136,5
50	150,5	140
55	146,5	141
60	141	143
65	134,5	145
70	122,5	148,5
75	110,5	149
80	101	150,5
85	96	153
90		155

(1) L'emploi de ces lampes commence à prendre une assez grande extension, car nous les avons remarquées dans plusieurs établissements de Paris où elles se sont substituées aux lampes à incandescence. On peut voir chez MM. Rousselle et Tournaire, électriciens, 50, rue de Dunkerque, la petite lampe de Siemens et Halske, désignée sous le nom de Liliput-Bogenlampe que les catalogues présentent avec les constantes suivantes : Intensité du courant, 2 ampères ; tension aux bornes, 80 volts ; fonctionne sur les réseaux à courant continu de 100 à 120 volts grâce à une résistance de compensation ; intensité lumineuse moyenne hémisphérique, sans globe, 160 bougies Heffner ; avec globe d'albâtre, 130 bougies Heffner ; consommation spécifique de 1 à 1,2 watts ; durée d'allumage, 20 heures ; lumière ordinairement fixe ; fonctionnement très sûr du régulateur ; remplacement des charbons très facile. La lampe Liliput est particulièrement avantageuse pour l'éclairage des chambres et des

	Lampe à arc (220 watts)	Lampe Nernst (220 watts)
Intensité moyenne hémisphérique.	130	123
Consommation spécifique. .	1,87	1,76

L'examen des courbes photométriques montre que les maxima d'intensité n'ont pas lieu dans les mêmes directions. Pour compléter la comparaison, il faudrait encore tenir compte de la fixité de la lumière, des frais de fabrication et d'entretien, de la façon dont chaque lampe remplit le but auquel elle est destinée, etc.

L'emploi des petits globes conduit à une illusion d'optique facile à expliquer ; l'œil qui les fixe, en effet, apprécie l'*éclat* de la source constituée ici par le globe et cet éclat est d'autant plus grand que le globe a un diamètre plus faible, l'intensité étant la même. Mais si au lieu de l'éclat on considère l'*éclairement* (et c'est le seul facteur important), il est difficile d'établir une distinction entre deux lampes identiques munies l'une d'un petit globe, l'autre d'un gros globe.

III. Résultats obtenus par d'autres expérimentateurs [1]. — A la séance de la *Institution of Electrical Engineers*, tenue le 28 février dernier, M. Stöttner a fait aussi une longue conférence sur la lampe Nernst. De cette communication et de la discussion qui l'a suivie, nous extrayons les quelques renseignements ci-dessous. M. Stöttner attribue la faible durée des filaments au régime défectueux auquel on les soumet. A son avis, ces lampes ne devraient jamais être poussées et le filament devrait toujours être parcouru dans le même sens par le courant. M. Robert Hammond donne des résultats d'essais officiels qui avaient pour but l'application de la lampe Nernst à l'éclairage des rues. Ce sont les lampes à 220 volts avec résistance de compensation pour 30 volts qui se sont le mieux comportées (ce n'est pas tout à fait la conclusion de M. Wedding) ; une grande résistance de compensation est la plus apte à maintenir constante la tension et la température. Comme durée moyenne, on a trouvé 305 heures, avec un minimum de 15 heures et un maximum de 875 heures. Quelques spécimens cependant étaient encore intacts au bout de 1 000 heures.

Si on en tient compte, on obtient comme durée moyenne 328 heures. L'entretien d'une lampe affectée à l'éclairage public revient à 25 fr environ par an.

Considérons une installation d'au moins 210 lampes de 80 bougies ; chaque unité coûte 71,2 fr et absorbe du courant pour 141,3 fr, en admettant qu'elle brûle 3 940 heures par an et qu'elle consomme 472,8 kilowatts-heure à 17 centimes le kilowatt-heure.

Enfin la « Electrical Standardizin Testing and Training Institution », de Londres, communique des essais qu'elle a faits sur 10 lampes Nernst.

N°	Nature de l'accident.	Durée d'allumage.
1	Rupture du filament.	926 heures.
2	Rupture du filament.	716 —
3	Encore intacte au bout de . . .	1 000 —
4	Rupture du conducteur soudé au filament.	574 —
5	Rupture de la spirale de chauffage	50 —
6	Cause inconnue	176 —
7	Rupture du filament.	500 —
8	Rupture du filament.	470 —
9	Cause inconnue	95 —
10	Encore intacte au bout de . . .	1 000 —

Durée moyenne : 550 heures.

IV. Conclusion. — De cette étude il ressort que la lampe Nernst de 220 volts et de 0,25 à 1 ampère, répond à peu près à toutes les exigences de la pratique, au point de vue du mécanisme d'allumage et de la durée du filament. Elle dépense moins que la lampe à filament de carbone et fournit une lumière plus fixe. Son emploi se traduit par une économie d'énergie de 50 p. 100. Ajoutons que plus d'un million de lampes sont à l'heure actuelle en fonctionnement.

D'une manière générale, les corps incandescents de seconde classe s'adaptent très bien aux régimes à haute tension. Cette importante propriété aura certainement une répercussion considérable sur les futures usines génératrices auxquelles elle permettra d'élever le voltage de distribution.

On peut, momentanément et abstraction faite de l'allumage automatique, réaliser avec la lampe Nernst des sources lumineuses de grande intensité en associant plusieurs filaments en parallèle ;

salons circulaires, pour les magasins, devantures et vestibules, etc. ; elle s'adapte aux rosaces murales et aux consoles ; elle peut également être utilisée comme lampe mobile.

[1] *The Electrician*, t. L, p. 806, 6 mars 1903.

par exemple, 3 filaments de 1 ampère et 220 volts donnent dans la direction de l'axe de la lampe une intensité de 700 bougies. Les deux conférenciers semblent d'accord pour reconnaître que ce nouveau mode d'éclairage est surtout destiné à tenir le milieu entre l'incandescence ordinaire et l'arc électrique. C'est vers ce but que doivent tendre les recherches des praticiens ; du reste, une lampe de 2 ampères sera bientôt mise en circulation.

Mais si la découverte de Nernst a progressé d'une façon si satisfaisante au point de vue industriel il faut avouer que l'étude purement physique et chimique des terres rares et de leurs composés est encore dans l'enfance. Il est à souhaiter que les hommes de laboratoire entreprennent de combler cette lacune.

T. P.

DIVERS

Couche double électrique et potentiel absolu, par **J. Billitzer**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 902-936, juillet 1903.

Si on produit une chute de potentiel dans la région où se trouve une couche double, les forces pondéromotrices exercées par le champ électrique sur les deux parties de la couche double sont de sens contraire. Il doit en résulter un déplacement relatif des deux couches. Ce déplacement changera de sens avec le signe de la couche double et s'annulera avec elle [1].

Le platine chargé d'hydrogène est négatif vis-à-vis des dissolutions faiblement alcalines ou acides : chargé d'oxygène, il est négatif vis-à-vis des solutions alcalines faibles, positif vis-à-vis des solutions acides.

Les dissolutions renfermant à la fois des ions ferreux et des ions ferriques se prêtent bien à la détermination du point d'inversion. La concentration absolue des sels n'a aucune influence, mais seulement le rapport des concentrations des deux espèces d'ions. L'expérience réussit également avec la dissolution d'aldéhyde formique, d'alcool éthylique, d'eau oxygénée. L'inversion se produit quand la différence de potentiel entre le métal plongé dans la dissolution et une électrode normale au calomel est voisine de 0,12 volt.

Avec le mercure, on obtient difficilement l'inversion en ajoutant seulement à la dissolution de l'azotate mercurique. L'argent plongé dans une dissolution d'azotate d'argent de concentration croissante ne donne aucune inversion [1].

Quels que soient le métal et la méthode employés, on trouve pour le platine, l'or, le palladium, l'argent, le mercure, le cuivre et le fer que le point d'inversion correspond à une différence de potentiel de 0,4 volt (vis-à-vis de l'hydrogène). Ce résultat n'est pas modifié par l'emploi de sels complexes.

Ces résultats sont difficilement explicables si on adopte la définition de la couche double telle que l'a donnée Helmholtz : En particulier, il est malaisé de les concilier avec l'idée de deux couches de signe contraire [1].

[1] Des fils de métal fin (0,01 à 0,05 mm de diamètre) sont fondus à leur extrémité de manière à former une petite boule. Ils sont suspendus par leur autre extrémité à un fil de quartz entre deux électrodes, entre lesquelles on établit une différence de potentiel de 220, 148,72 ou 10 volts. On observe les déplacements du fil à l'aide d'un microscope.

[1] La méthode précédente comporte une cause d'erreur : le fil peut se comporter comme une électrode intermédiaire. Pour rendre cette erreur inappréciable, il faut diminuer autant que possible le diamètre du fil : mais on est vite arrêté dans cette voie. Pour faire l'expérience avec des particules très fines, on peut mesurer le transport électrique des métaux réduits à l'état colloïdal et étudier les modifications produites par l'addition de certaines substances.

Enfin, on peut utiliser le phénomène signalé par Dorn (v. le mémoire suivant) : ce qui permet d'observer le point d'inversion sans faire passer de courant à travers la couche double. Le transport des particules en suspension entre les électrodes est un phénomène réversible : le déplacement des particules, sous l'action de la pesanteur, par exemple, provoque un courant dans un conducteur reliant extérieurement les deux électrodes. Le sens de ce courant dépend du signe de la différence de potentiel au contact entre les particules et l'électrolyte : d'où le moyen de déterminer le point d'inversion.

[1] Soit une électrode réversible, une électrode d'argent par exemple, dans un sel d'argent. Tant que la dissolution ne renferme que peu d'ions d'argent, le métal lui cédera des ions positifs et par conséquent se chargera négativement. Il en sera ainsi jusqu'à ce la pression des ions dissous soit égale à la tension de dissolution du métal. A ce moment la charge du métal est nulle. Si la concentration des ions dissous augmente encore davantage, c'est le métal qui recevra maintenant des ions de la dissolution et prendra par suite une charge positive. Dans les dissolutions concentrées la couche double aurait sa face positive sur le métal : dans les solutions diluées, ce serait sur le liquide.

Quand on introduit une tige d'argent dans une liqueur qui ne contient aucun ion d'argent, il se forme aussitôt

Production d'électricité par le déplacement des corps solides dans les liquides, par **J Billitzer.** *Drude's Annalen*, t. XI, p. 937-956, juillet 1903.

Des particules solides tombant à travers un liquide produisent un courant dont le sens dépend du signe de la charge des particules par rapport au liquide. Si cette charge est positive, le courant d'électricité positive est dirigé dans le sens de la chute.

Les courants thermo-électriques et les courants dus à la pesanteur (à cause de la différence des pressions auxquelles sont soumises les deux électrodes placées aux extrémités d'un tnbe vertical) ne jouent qu'un rôle insignifiant dans les expériences. Il en est de même du frottement des particules contre les parois du tube.

Toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité du courant décroît quand la longueur du tube augmente. Cette diminution résulte de l'augmentation de résistance du tube. D'une part, la séparation des électricités doit se faire sur chaque élément dl de trajectoire : d'autre part la différence de potentiel produit s'oppose à la séparation. On devra donc avoir :

$$dv = \frac{dl}{f(l)}$$

ou

$$v = \text{log nép } kf(l)$$

Soient r_e la résistance extérieure du circuit, r_i la résistivité de l'électrolyte, s la section du tube

$$i = \frac{v}{r_e + \frac{l}{s} r_i}$$

d'où :

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_{2e} + \frac{l_2}{s} r_i}{r_{1e} + \frac{l_1}{s} r_i} \frac{\log f(l_1)}{\log f(l_2)}$$

Comme la fonction $f(l)$ est inconnue, on ne peut effectuer que des mesures qualitatives. Par exemple, la variarion relative de l'intensité avec la longueur du tube doit être d'autant plus grande que l'électrolyte est moins conducteur. Si l'électrolyte est très conducteur, la diminution se changera même en une augmentation. C'est en effet ce qu'on vérifie.

La répartition des potentiels le long du tube présente des caractères tout particuliers [1].

L'intensité du courant augmente très rapidement avec la température : elle augmente également avec la capacité du morceau de métal qui tombe.

Elle croît aussi avec la différence de potentiel au contact du métal et de l'électrolyte, (en

---

sur cette tige une couche double, par suite de la dissolution des ions positifs.

Si les deux charges formant la couche double doivent rester égales et de signe contraire, tous les ions devraient rester adhérents à la surface du métal et par suite ne pas pénétrer dans la dissolution ; ou bien l'électrode devrait recevoir du dehors des ions positifs en nombre égal à celui des ions d'argent diffusés.

Il n'en est pas ainsi : d'après la théorie de Nernst, il est plus probable que des ions d'argent se diffusent, jusqu'à ce que les forces électrostatiques empêchent cette diffusion et produisent l'équilibre. Ce serait l'inverse dans une dissolution concentrée. Par suite de l'énorme capacité des ions, cet équilibre serait atteint, alors que la dissolution ne renfermerait que des quantités inappréciables de métal. Mais on peut supposer que la couche double est en partie dissociée.

---

[1] Un tube de 48 cm de long porte à ses extrémités deux électrodes circulaires distantes de 43,5 cm l'une de l'autre. En outre quatre fils d'argent distants l'un de l'autre de 12,5 cm pénètrent par des tubulures latérales et se recourbent à l'intérieur en demi-cercle Ces fils servent de sondes pour la mesure des potentiels. Soit B l'électrode supérieure, A l'électrode inférieure, 1, 2, 3, 4 les sondes numérotées à partir de A. De B à la sonde 4, le potentiel tombe très rapidement, de même de 1 à A ; entre 1 et 4, il varie à peu près suivant une fonction exponentielle de la distance.

Ceci s'explique sans peine en considérant la couche double comme il a été fait dans le mémoire précédent.

Tant que le métal est en repos, il est en équilibre avec l'électrolyte (cet équilibre s'établit par suite de la dissolution des ions). Si le métal se déplace, il entraîne les couches de liquide les plus voisines dans son mouvement et seulement une faible partie des ions. La plupart de ceux-ci, en raison de leur faible mobilité, restent dans la dissolution. Dans son mouvement, le métal arrive dans une région où la concentration des ions aura une autre valeur que dans la région qu'il vient de quitter. L'équilibre devra se rétablir par un nouvel échange d'ions et ainsi de suite sur chaque élément de la trajectoire.

Le tube est donc l'analogue d'une série de piles de concentration.

Les chutes rapides au voisinage des électrodes terminales tiennent au contact du métal qui tombe avec l'électrode : c'est alors la différence de concentration entre les dissolutions qui entourent le métal et l'électrode qui intervient : elle est plus grande qu'entre la dissolution en contact avec l'électrode et les régions immédiatement voisines. En fait, si on s'arrange de façon à laisser le métal passer librement à travers l'électrode, la variation du potentiel devient continue.

prenant comme o le potentiel de l'électrolyte. La courbe présente une analogie frappante avec celle qu'a donnée J.-J. Thomson, pour représenter la quantité d'électricité produite par des gouttes de liquide tombant à travers un gaz, quand on ajoute certaines substances au liquide. Il semble bien qu'il y ait une certaine parenté entre les deux phénomènes. M. L.

***Relations du pouvoir réflecteur et du pouvoir émissif des métaux avec leur conductibilité électrique*, par E. Hagen et H. Rubens.**
Drude's Annalen, t. XI, p. 873-902, juillet 1903.

Sous sa forme primitive, la théorie de Maxwell ne tient pas compte des vibrations propres aux molécules des corps. Elle fait prévoir que la transparence des métaux doit être en rapport avec leur conductibilité électrique. Les métaux se rangeraient dans le même ordre par rapport à l'une ou à l'autre de ces propriétés. Les expériences effectuées avec les radiations de faible longueur d'onde, dans le spectre ultraviolet et dans le spectre visible, ne sont pas favorables à la théorie. Mais quand on considère des radiations de l'infra rouge, les écarts s'atténuent : on est conduit à penser que la théorie se vérifierait pour les grandes longueurs d'onde.

Les relations que la théorie fait prévoir pour la transparence doivent avoir leurs analogues pour l'intensité de la radiation qui pénètre dans le métal et pour l'émission. Ces grandeurs sont plus faciles à déterminer expérimentalement. Quand le pouvoir réflecteur est différent de 1, on peut ramener la détermination de l'intensité à celle de ce pouvoir réflecteur. Sinon, il est préférable de la déduire du pouvoir émissif.

MM. Hagen et Rubens ont appliqué ces deux méthodes [1].

L'argent, le cuivre, l'or, l'acier, le nickel, le bismuth, deux alliages de nickel, les alliages de Brandes, Schünemann et Rosse, le magnalium, ont des pouvoirs réflecteurs R qui dans l'infra rouge varient très régulièrement. Les courbes (longueurs d'onde en abscisses) sont asymptotes à R = 1. Partout les métaux se rangent dans le même ordre et on a à très peu près :

$$(1 - R)\sqrt{c} = \text{const.} = C \qquad (1)$$

c étant la conductibilité électrique du métal. C'est le résultat prévu par la théorie de Maxwell [1].

La relation (1) se vérifie également par la mesure des pouvoirs émissifs pour $\lambda = 25{,}5\ \mu$ (rayons restants de la fluorine).

D'après cette relation, la variation de la conductibilité avec la température doit entraîner une variation parallèle du pouvoir émissif. C'est ce que confirment les mesures.

Les propriétés magnétiques du fer et du nickel n'ont pas d'influence sur leur action vis-à-vis des rayons de grande longueur d'onde.

D'après la théorie de Maxwell, le coefficient d'extinction g et l'indice de réfraction ν des métaux sous l'incidence normale ont la même valeur numérique. On a approximativement :

$$g = \nu = 5{,}48\sqrt{x\lambda} \qquad \text{(Drude)}$$

Comme :

$$R = 1 - \frac{2}{\nu} = 1 - \frac{2}{g}$$

$$g = \nu = \frac{2}{1 - R}$$

Donc ces coefficients se déduisent immédiatement du pouvoir émissif.

Dans le calcul théorique de la constante C interviennent seulement, en dehors des facteurs numériques la vitesse de propagation de la lumière et la longueur d'onde ; ces deux grandeurs se déterminent par des expériences sur les radiations. En divisant le pouvoir émissif d'un métal pour la longueur d'onde λ par la constante C et faisant le carré du quotient, on obtient la résistance d'un fil de ce métal ayant 1 m de longueur et 1 mm² de section. On aurait ainsi une méthode de détermination de l'ohm,

[1] Pour réaliser la première, ils mesurent à l'aide d'une pile thermoélectrique, l'intensité des raies du spectre infra-rouge, obtenue en prenant comme source, une première fois le filament d'une lampe Nernst, une deuxième fois, une image réelle de ce filament, de même grandeur, produite par le miroir dont on détermine le pouvoir réflecteur. Celui-ci est donné par le rapport des élongations du galvanomètre dans les deux cas.

[1] Pour mesurer le pouvoir émissif, on compare l'émission d'une plaque du métal à celle d'un corps noir à la même température. Ce corps noir est formé par un cylindre de cuivre à extrémités coniques rentrant dans une caisse de cuivre. La caisse renferme de l'aniline chauffée : les plaques de métal sont fixées sur des ouvertures pratiquées dans les parois de la caisse.

ne faisant intervenir que des expériences sur les radiations. M. L.

Décharge disruptive à travers un diélectrique solide, par **J. Kiessling et B. Walter**. *Drude'sAnnalen*, t. XI. p. 570-588, juillet 1903.

Dans les bobines d'induction, les deux enroulements sont séparés par un tube en ébonite. Pour essayer la résistance de ce tube à la décharge disruptive, on introduit à l'intérieur un anneau métallique ; à l'extérieur on glisse sur la surface un anneau semblable. Ces deux anneaux sont reliés respectivement aux deux pôles d'une forte bobine d'induction, dont on règle la tension d'après l'épaisseur du tube essayé. On déplace progressivement les deux anneaux le long du tube, en les maintenant concentriques. Quand on arrive aux extrémités, il faut empêcher l'étincelle de contourner le bord du tube, ce qu'on réalise en plongeant l'extrémité dans un bain d'huile. Or on observe fréquemment que le tube se perce exactement sur la surface du liquide, alors que cette région avait supporté sans dommage les essais précédents dans l'air.

Il y a lieu de rapprocher ce phénomène de l'expérience ancienne dite du perce-verre. On sait que cette expérience réussit beaucoup plus facilement quand on a fait tomber sur la lame de verre une goutte de stéarine, de cire ou de cire à cacheter. L'ouverture est toujours au bord de cette goutte (Waltenhofen). Si on emploie au lieu de la goutte un anneau, le verre est percé toujours à l'intérieur de l'anneau, si les deux électrodes sont placées toutes deux aussi à l'intérieur de l'anneau (Mach et Doubrava).

D'après MM. Kiessling et Walter, il faut chercher la cause de ces phénomènes dans une concentration de la décharge sur un point déterminé. Ils appuient cette explication sur un certain nombre d'observations et d'expériences.

Quand le contour de la goutte n'est pas très uni, le trou percé par la décharge se trouve toujours au voisinage d'un angle saillant de ce contour. Si on trace dans la goutte avec un couteau bien affilé un sillon, le trou se trouve presque sans exception dans ce sillon, quelle que soit la position des électrodes de part et d'autre du verre, par rapport à la surface de la goutte. Si la lame a une épaisseur suffisante pour n'être pas traversée, on voit les décharges partant de l'électrode placée du côté du sillon, au lieu de se disséminer dans tous les sens, se concentrer presqu'entièrement dans le sillon. Ce dernier devient aussi lumineux que la partie capillaire d'un tube de Geissler.

L'observation est frappante surtout quand les deux électrodes sont exactement en face du sillon ou quand elles sont chacune au voisinage de l'une des extrémités. Peu importe d'ailleurs que ce sillon ait une forme quelconque, rectiligne, sinueuse ou en zig-zag.

Si on emploie une goutte massive, et qu'on observe dans l'obscurité, on voit les décharges parties de l'électrode située du côté de la goutte se diriger à peu près exclusivement vers celle-ci, contourner les bords et provoquer l'apparition de lignes lumineuses; mais le phénomène est moins brillant que dans le cas précédent. Ces apparences lumineuses accusent avec une fidélité surprenante toutes les irrégularités du contour de la goutte.

En admettant que la décharge se compose de plusieurs aigrettes successives qui suivent le même chemin et deviennent de plus en plus longues, en rendant leur trajectoire de plus en plus conductrice, les bords du sillon ou de la goutte doivent acquérir bientôt une conductibilité plus grande que celle des régions environnantes.

Cette remarque explique les expériences suivantes :

Les deux électrodes E_1 et E_2 se trouvent vis-à-vis de points différents du sillon AB, tracé dans la goutte TT (fig. 1). Le trou se trouve presque toujours au voisinage de l'électrode E_2, du côté libre de la lame de verre, quel que soit d'ailleurs le signe des électrodes. C'est ce qui doit arriver si le sillon joue le rôle d'un conducteur, car c'est suivant AE_2 que la chute de potentiel à travers la lame est la plus grande.

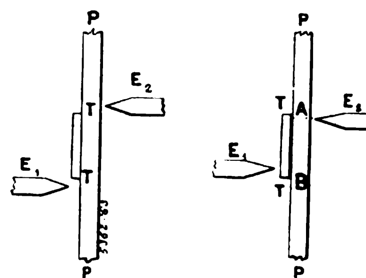


Fig. 1 et 2.

Si les électrodes sont placées comme dans la figure 2, le trou se trouve souvent au voisinage du bord de la goutte, au point diamétralement opposé à l'électrode située du côté de la goutte : l'explication précédente s'applique parfaitement à cette observation. Il suffit d'admettre que tout le contour de la goutte est à peu près au même potentiel.

Mais l'expérience la plus convaincante pour démontrer qu'il y a bien concentration de la décharge, consiste à percer au centre de la goutte un trou fin avec une aiguille.

Une plaque d'ébonite de 50 × 50 cm² et de 4,2 mm d'épaisseur, n'est pas percée par une bobine donnant 50 cm d'étincelle. Si on emploie une simple goutte de stéarine, il faut encore une décharge correspondant à 20 ou 30 cm d'étincelle. Avec une goutte percée d'un trou d'aiguille, il suffit, pour traverser la plaque, de quelques secondes avec des décharges correspondant à 10 cm d'étincelle. La goutte peut se trouver très près du bord de la lame sans que la décharge contourne ce bord. En prenant une plaque d'une épaisseur suffisante pour qu'elle ne soit pas percée, on voit nettement que la décharge se concentre dans le trou d'aiguille : elle part de l'électrode sous forme d'un trait lumineux rougeâtre, qui disparaît dans le trou [1].

La puissance disruptive de la décharge dépend en premier lieu de la différence de potentiel, non de la quantité d'électricité. L'emploi d'une bouteille de Leyde n'est donc d'aucune utilité quand on se sert d'une bobine d'induction.

Il est possible de percer une lame de verre en plusieurs points extrêmement voisins. Souvent même deux trous se forment par une seule décharge. C'est parce que le canal tracé dans le verre par la première décharge se ferme de lui-même et que les décharges suivantes passent aussi bien à côté de ce canal que par ce canal même.

Les conclusions pratiques sont : 1° qu'il faut éviter dans le travail des isolants qu'il se produise sur la surface de la matière des gerçures ou des piqûres ; 2° que ces défauts doivent être évités aussi avec le plus grand soin dans les tubes qui servent à isoler les enroulements des bobines.

Au point de vue théorique, on peut expliquer ces divers phénomènes dans la théorie des ions. La concentration de la décharge suivant certaines lignes serait due à ce que les ions mis en liberté par les avant-coureurs de la décharge ne s'échappent pas avec la même vitesse dans toutes les directions. En outre la goutte se chargerait fortement et cette charge contribuerait à retenir les ions dans son voisinage. M. L.

(1) Pour obtenir des gouttes qui adhèrent bien au verre et se percent facilement, on prend une dissolution de 1 p. de colophane dans 14 p. de térébenthine de Venise chaude.

Remarque sur le mémoire précédent, par **W. Holtz.** *Drude's Annalen*, t. XII, p. 224, août 1903.

MM. Kiessling et Walter rapprochent leurs expériences avec la goutte diélectrique percée d'un trou d'aiguille des expériences de Holtz. Holtz employait un cylindre de verre massif, de 20 à 30 cm, de 5 à 10 cm de diamètre, percé d'un canal étroit dans lequel passait le fil conducteur. Ce cylindre était rodé soigneusement à sa base, laquelle était mastiquée sur la lame à percer.

M. Holtz fait remarquer que dans son mémoire complet (*Berl. Berichte*, août 1876), il explique de plus pourquoi les appareils doivent être ainsi disposés, signale que la rigidité diélectrique des isolants solides est indépendante de la polarité et de la quantité d'électricité, plus grande dans les bons isolants que dans les médiocres. Il a reconnu aussi qu'il se produit des aigrettes et que ces aigrettes peuvent élever la température de l'isolant, le fondre ou le décomposer, et indiqué une méthode pour étudier l'étincelle au microscope. M. L.

Sur les rayons de force électrique à polarisation rotatoire, par **Alessandro Artom.** *L'Elettricista*, t. XII, p. 129, juin 1903.

L'auteur a cherché à obtenir des ondes électromagnétiques rotatoires au moyen de la composition de deux oscillations électriques orthogonales d'égale amplitude et de même fréquence et déplacées de phase d'un quart de période l'une par rapport à l'autre [1].

Il a appliqué à cette recherche une propriété des circuits parcourus par un courant alternatif, qui sert pour la production des champs magnétiques tournants : étant données deux parties d'un même circuit alternatif, on peut obtenir

(1) Righi. L'optique des oscillations électriques.

que ces deux parties soient parcourues par des courants de même intensité efficace mais déplacés de phase de $\frac{\pi}{2}$, en disposant en parallèle avec l'enroulement de l'un d'eux un condensateur dont la capacité dépend des éléments électriques du circuit.

Soient M, N et P, trois conducteurs de décharge (fig. 1) disposés suivant les sommets d'un triangle isocèle rectangle et appartenant à un même circuit de décharge d'une bobine d'induction ou d'une machine statique. On admet habituellement que la décharge est sinusoïdale; on peut alors par analogie avec les courants alternatifs calculer le circuit de façon à obtenir que les oscillations qui ont lieu entre M et N d'une part, et N et P d'autre part aient une même amplitude et soient déplacées de phase de $\frac{\pi}{2}$. On dispose en parallèle avec NP une capacité C et une self-induction S convenables en série.

On peut alors considérer les deux décharges comme provenant, l'une MN du circuit primaire d'un oscillateur, l'autre NP d'un résonateur parfaitement accordé.

Les vérifications faites par M. Artom ont donné des résultats nettement positifs.

Les effets dus aux champs magnétiques tournants ont été observés par les courants induits sur des solénoïdes suspendus dans diverses directions; on sait d'ailleurs que les effets de l'hystérésis magnétique s'annulent pour les très hautes fréquences.

Pour les champs électriques tournants, on dispose au voisinage de l'oscillateur (la distance peut atteindre jusqu'à 20 ou 30 cm), de légères

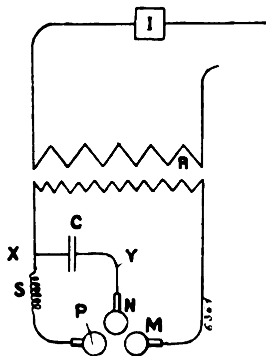


Fig. 1.

cloches de verre posées sur une très fine pointe de verre, elles se mettent ainsi en rotation. Pour bien voir le phénomène, il convient de choisir la forme des conducteurs de décharge et de les orienter de façon à éviter les décharges parasites entre les conducteurs extrêmes M et P. Si l'on intervertit les communications de manière à avoir le circuit résonateur en MN au lieu de NP, les clochettes prennent un mouvement de rotation en sens contraire. Cette inversion distingue nettement les phénomènes dus à cette disposition particulière du circuit des autres phénomènes rotatoires de caractère peu défini produits par l'étincelle.

La rotation des cloches de verre est rendue plus nette si on les couvre ou si on les enferme dans un récipient de verre ou de substance isolante.

La rotation a été observée avec de petits cylindres constitués par un mélange de paraffine et de limaille de fer à 10 p. 100 environ.

L'expérience réussit assez nettement, comme preuve de l'existence d'un champ électrique tournant [1], en choisissant pour plan des étincelles le plan horizontal et observant la rotation autour d'axes verticaux des cloches que l'on place de préférence dans un plan plus bas que celui de l'oscillateur.

Si l'on fait tourner les résonateurs rectilignes autour de divers axes, on constate la persistance de l'étincelle. La vérification a été faite en particulier en faisant tourner les résonateurs autour de l'axe de symétrie, mené normalement au plan de l'étincelle. A l'aide de réticules analyseurs et de résonateurs, on peut comparer les amplitudes des deux oscillations.

L'extinction des étincelles rend le champ électromagnétique produit par cette disposition particulière d'oscillateur assez complexe.

Mais à l'aide d'antennes ou de conducteurs aériens, on peut donner au champ une plus grande régularité par le fait qu'il est possible avec l'emploi de deux antennes de même longueur de produire des ondes sensiblement de même longueur. De plus la disposition est de grand intérêt dans les signaux électromagnétiques à travers l'espace [2].

On relie directement ou par l'intermédiaire de bobines d'induction mutuelle, respectivement

(1) R. Arno. *Rendiconti dei Lincei* 1892. *Écl. Élect.* t. XXIII, p. 269.

les deux sphères M et N à deux conducteurs ou mieux à deux systèmes de conducteurs aériens de même longueur, et dont les directions font un angle de 90°; il n'y a pas à craindre ainsi l'annulation des actions à distance par induction mutuelle entre les deux conducteurs. Dans les conditions exposées ci-dessus, les deux conducteurs aériens orthogonaux seront le siège d'oscillations de même amplitude, mais présentant une différence de phase de $\frac{\pi}{2}$.

La composition de ces deux oscillations donnera donc lieu à des ondes électromagnétiques à polarisation rotatoire, ou en d'autres termes produira des champs tournants à la fois électriques et magnétiques, parmi lesquels ceux qui se propageront dans la direction de l'axe de symétrie passant par le point de concours des deux antennes et normal à leur plan seront circulaires.

Cette disposition du circuit oscillateur est susceptible d'une grande généralité, parce que, comme l'on sait, on peut obtenir des champs tournants si, maintenant égale l'amplitude, la différence de phase est φ au lieu de $\frac{\pi}{2}$. Il suffira de disposer les antennes de manière qu'elles fassent un angle $\pi - \varphi$ pour produire encore des oscillations à polarisation rotatoire.

La disposition décrite peut être utilisée dans la construction d'appareils syntoniques. Il est en effet possible de choisir pour chaque station les quantités caractéristiques C et L.

G. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

DEUTSCHE BUNSEN GESELLSCHAFT

10e Assemblée générale

La dixième Assemblée annuelle de la Société Brunsen (ancienne Société allemande d'électrochimie) s'est tenue cette année à Berlin, du 3 au 8 juin, sous la présidence du Dr Böttinger d'Elberfeld. Nous donnerons ici l'analyse détaillée des principales communications qui ont été présentées à cette assemblée.

Une recherche sur la densité critique, par le **Dr Traube**, de Berlin. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 619, 6 août 1903.

J. Traube et G. Teichner ont enfermé un grand nombre de petits ballons d'épaisseur déterminée dans un tube rempli de chlorure de carbone pur. Le tube était introduit dans un thermostat permettant de maintenir une température constante à quelques centièmes de degré près, puis échauffé jusqu'au-dessus de la température critique.

On reconnaît que, à une température de 10 degrés supérieure à la température critique, les globules se maintiennent en suspension pendant très longtemps dans les hauteurs les plus différentes, et que les différences de densité atteignent 50 pour 100 et plus, quelques degrés au-dessus de la température critique.

Les différences de densité de beaucoup les plus grandes existent au point où le ménisque disparait; en haut et en bas des tubes, les différences sont beaucoup plus faibles. Il règne un équilibre parfait de pression, pour les densités les plus différentes, bien au-dessus de la température critique.

Ces recherches de G. Teichner confirment celles de De Heens, Galitzine, et d'autres, et sont en contradiction avec la théorie d'Andrews et celle de van der Waals, sur la continuité. Il existe à la température critique deux matières différentes, et la température critique est celle pour laquelle ces matières se dissolvent l'une dans l'autre en toute proportion. C'est le point de rencontre de deux courbes de solubilité.

Dans un travais antérieur (*Drude's Ann.*, t. 8, p. 267, 1902), J. Traube a développé une hypothèse qui explique ces phénomènes critiques et d'autres encore.

Ce travail montre que la grandeur *b* de van der Waals est essentiellement plus grande, pour la même température, si on l'évalue d'après le gaz au lieu de l'évaluer d'après le liquide. Ceci s'explique par le fait que *b* est une fonction de la pression, aussi bien de celle de l'affinité que de la

pression extérieure, et surtout de la pression intérieure $\frac{a}{v^2}$ Pour cette raison, b varie d'une façon discontinue par la vaporisation.

Une molécule de gaz est essentiellement plus grande qu'une molécule liquide. Les premières sont solubles dans les secondes et celles-ci dans les premières. Les liquides homogènes et les vapeurs saturées sont de telles dissolutions. Le rapport des molécules gazeuses et des molécules liquides est déterminé par la température. A la température critique, on se trouve en présence d'une solution en proportion libre.

Discussion. — G. Tammann, de Göttingen, soutenant la théorie d'Andrews, pense que dans les expériences de Teichner il y a un simple phénomène de retard et que l'égalisation des densités se serait produite si les expériences avaient duré plusieurs jours au lieu de plusieurs heures. D'après lui, l'existence de plusieurs molécules serait probante si les courbes de volumes du liquide et du gaz se coupaient en une pointe et si la chaleur de vaporisation avait une valeur finie à la température critique, faits qui ne sont pas démontrés.

J. Traube répond que Teichner a déterminé la variation de la chaleur spécifique en fonction de la température, et qu'à la température critique il se produit une brusque discontinuité qui prouve qu'au-dessus de la température critique n'a plus lieu aucune action engageant de la chaleur, sans que cependant on puisse conclure que la chaleur de vaporisation soit nulle à la température critique. Il rappelle l'expérience suivante de Villars. Un tube scellé rempli d'éthylène renfermait deux thermomètres, un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. A la température critique, le thermomètre inférieur indiquait une température inférieure de 0,5 à 1 degré C. à celle du thermomètre supérieur. En retournant le tube dans le thermostat, la substance plus froide coulait à l'autre extrémité du tube et refroidissait le thermomètre plus chaud. On peut conclure de cette expérience que la chaleur de vaporisation n'est pas nulle à la température critique.

Sur un nouveau four électrique à résistance,

par le Dr **O. Frolick**, de Berlin. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 628, 6 août 1903.

Les fours électriques à résistance doivent présenter les qualités suivantes : donner une température déterminée avec un rendement aussi élevé que possible, avoir une durée suffisante, permettre l'utilisation des tensions employées en pratique, pouvoir se construire dans les différentes formes nécessitées par la pratique.

L'arc électrique ne remplit pas plusieurs de ces conditions ; il faut utiliser une chambre dont les parois se laissent chauffer électriquement. La matière de ces parois doit posséder un point de fusion élevé, être insensible aux actions chimiques ; sa résistance électrique doit être grande et elle doit pouvoir être obtenue en petites pièces de façon à permettre la construction des différentes formes de fours.

Si les six côtés de la chambre sont chauffés électriquement, la température est la même en tous points de la chambre et égale à celle de la surface des parois. Comme deux ouvertures sont nécessaires pour l'entrée et la sortie des substances, il convient de donner à ces ouvertures une section aussi faible que possible par rapport à la surface de chauffe électrique. Ceci est le cas lorsque la chambre de chauffe est constituée par un canal de grande longueur et de faible largeur.

Afin d'augmenter le rendement, on doit entourer la chambre, à une certaine distance, d'une couche mauvaise conductrice de la chaleur.

L'auteur a trouvé une série de combinaisons chimiques qui conduisent à froid et peuvent être utilisées comme corps de chauffage sans être échauffées préalablement. Leur point de fusion est très élevé ; elles résistent bien aux différentes influences chimiques et leur conductibilité électrique est pour la plupart beaucoup plus faible que celle du charbon.

A l'aide de ces substances, on peut fabriquer, en utilisant l'arc électrique, des plaques conductrices que l'on relie avec des électrodes convenables avec lesquelles on construit le four. L'expérience a montré que ces plaques sont à peine décomposées par le courant continu.

L'auteur a également trouvé une matière mauvaise conductrice de la chaleur et qui sert à constituer l'enveloppe extérieure du four. A l'incandescence, cette matière ne conduit pas électriquement ; elle peut donc servir comme couche isolante dans les fours électriques à résistance.

Au laboratoire de l'École supérieure technique existe un four de démonstration. Sa température atteint 1 200 degrés lorsqu'on chauffe électriquement au rouge vif deux parois perpendiculaires. Elle peut atteindre 1600 degrés et plus, si on chauffe électriquement un plus grand nombre de parois.

Le point de fusion de la matière des parois est supérieur à 2000 degrés C. Sa conductibilité électrique est 16 fois plus faible que celle du charbon à chaud, et 25 fois plus faible à froid.

La construction du four permet d'utiliser les tensions électriques ordinairement employées.

L'auteur est convaincu que l'emploi de ces fours se développera rapidement, notamment dans l'industrie du fer.

Discussion. — G. P. Drossbach, de Freiberg, fait remarquer, à propos des corps électriquement non-conducteurs à la température de l'incandescence, que beaucoup d'oxydes sont dans ce cas, à la condition d'être dans un état parfait de pureté. C'est ainsi que l'oxyde de thorium, par exemple, lorsqu'il est pur, ne laisse pas passer le courant à l'incandescence.

D'autre part, les oxydes acides, tels que certains sels titaniques, sont plus conducteurs que les oxydes basiques.

W. Nernst, de Gottingen, signale qu'au-dessus de 1 700 degrés C. les oxydes purs ne conduisent pas sensiblement, mais seulement les mélanges. Le phénomène est semblable à celui constaté avec les solutions hydratées. Ainsi, par exemple, l'eau ne conduit pas, l'acide chlorhydrique pur, non plus, et leur mélange est conducteur. De même, les oxydes purs de thorium et de magnésium ne conduisent pas, alors que leur mélange devient conducteur.

Sur la réduction électrolytique des combinaisons non saturées, par le professeur **Marie**, de Paris. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 633, 6 août 1903.

En employant des cathodes appropriées, le mercure par exemple, on peut transformer par électrolyse les acides non saturés, tel que les acides fumarique, aconitique, etc., en acides saturés correspondants. Pour les corps qui se laissent oxyder facilement à l'anode, on peut employer l'artifice suivant : dans un vase de grand diamètre, dont le fond est formé par un diaphragme, on place une couche de mercure, et par dessus on verse la solution à réduire. Le vase est introduit dans une solution alcaline (Na OH) dans laquelle plonge l'électrode positive, pendant que l'électrode négative est constituée par le mercure. Dans ces conditions, on produit d'une façon continue l'amalgame qui opère la réduction.

Sur l'importance de l'électrolyse pour la préparation des combinaisons organiques, par le professeur Dr **F. Fœrster**, de Dresde. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 634, 6 août 1903.

L'auteur ne fait que signaler l'importance du sulfate de cérium comme oxydant, d'un côté par suite de sa facilité de régénération électrolytique, d'un autre côté, par suite de son potentiel d'oxydation élevé, voisin de celui de l'acide permanganique (dans une solution de 0,1 molécule $Ce(SO^4)^2$ et 0,05 molécule $Ce^2(SO^4)^3$ dans H^2SO^4 normal, une lame de platine poli donne une différence de potentiel égale à — 1,45 volt avec l'électrode normale (hydrogène).

Comme dans la préparation électrolytique du perchlorate, les corps sont produits ici, d'abord par électrolyse et, en outre, par action purement chimique.

Sur l'emploi de l'électrolyse dans l'industrie des produits inorganiques, par **R. Brandeis**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 635, 6 août 1903.

L'auteur décrit les principales applications de l'électrolyse à la préparation des produits inorganiques. Cette communication se rapportant à des descriptions connues, nous nous contenterons de la mentionner.

Remarques sur l'électrométallurgie de l'aluminium, par **G. Gin**, de Paris. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 642, 6 août 1903.

L'auteur décrit ici les conditions physiques et chimiques à réaliser dans la préparation industrielle de l'aluminium par voie électrolytique. Cette communication a déjà été publiée dans ce journal [1].

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 71, 11 juillet 1903.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXVI Samedi 12 Septembre 1903. 10e Année. — N° 37

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TRAINS A UNITÉS MULTIPLES WESTINGHOUSE

Leur fonctionnement est basé sur l'emploi de servo-moteurs qui ne sont ni exclusivement électriques, ni exclusivement pneumatiques, mais qui font usage à la fois du courant électrique et de l'air comprimé des réservoirs de freins.

Toutefois, ils ont encore ceci de particulier, que le courant électrique utilisé n'est pas celui qui sert à la traction même des voitures, c'est-à-dire le courant à 5 ou 600 volts emprunté au trôlet ou au troisième rail; *la source de courant est entièrement indépendante du réseau de traction*, et les promoteurs de ce système y voient un avantage notable à revendiquer en faveur de son emploi, celui de s'opposer à toutes les causes de perturbations possibles affectant le réseau de traction.

La question pourrait être examinée de plus près, et on pourrait se rendre compte facilement que ces perturbations ne sont pas, en général, aussi redoutables, et leurs conséquences sur le fonctionnement du système aussi considérables qu'on pourrait le croire à première vue.

Il n'est pas nécessaire, d'ailleurs, de recourir à une source d'électricité de grande puissance, parce que l'électricité est seulement utilisée pour commander les organes délicats de la distribution d'air, et que l'air comprimé seul effectue le déplacement et les mouvements des organes mécaniques nécessaires à la régulation simultanée de toutes les voitures.

Chacune de ces voitures comporte :

Un régulateur série parallèle de marche, mû par l'air comprimé;

Un inverseur donnant la direction de marche aux trains dans un sens ou dans l'autre, également mû par l'air comprimé.

Et tous les appareils accessoires, dont quelques-uns empruntent à l'air comprimé certaines modifications ou certains perfectionnements que nous signalerons dans la suite.

L'*inverseur de marche* est, de tous les appareils, celui qui se prête le mieux à la commande par l'air comprimé; il suffit que les cylindres portant les contacts destinés à inverser les induits des moteurs pour inverser le sens de marche, soient mis dans une

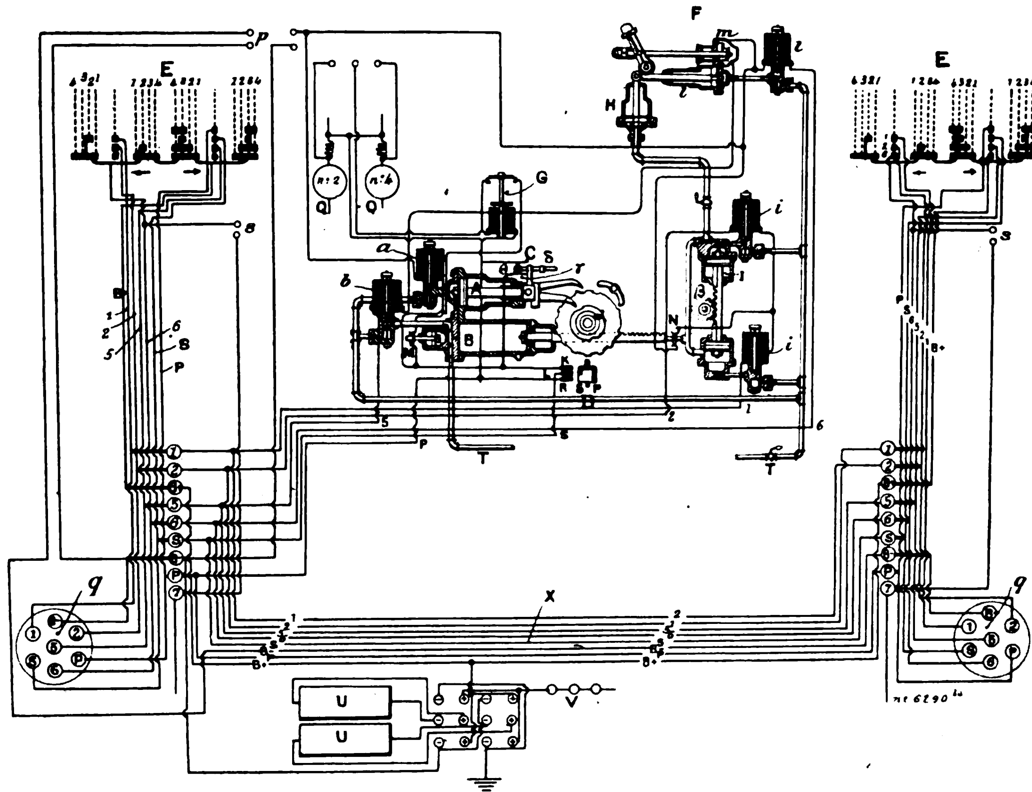


Fig. 1. — Schéma d'un équipement complet Westinghouse à deux moteurs et à deux postes de commande.

α. Arbre de commande du cylindre principal du contrôleur. — β. Arbre de commande de l'inverseur. — A. Cylindre d'avancement du contrôleur principal. — B. Cylindre de rappel au zéro du contrôleur principal. — *a*. Electro-aimant de commande du cylindre d'avancement. — *b*. Electro-aimant de commande du cylindre de rappel au zéro. — C. Appareil répétiteur automatique avec contacts fixes 0, contact mobile γ et butées mobiles δ. — D. Contacts auxiliaires d'arrêt aux positions série et parallèle, comportant : S. Segments mobiles d'arrêt à la position série ; P. Segments mobiles d'arrêt à la position parallèle ; K. L. R. Contacts fixes correspondants. — E. Appareil de commande du mécanicien comportant 4 positions des contacts fixes, et des contacts mobiles reliés entre eux et à la masse du cylindre porte-contacts, mais isolés de la terre ou du châssis de la voiture. — F. Ensemble des appareils de commande du disjoncteur, comportant : H. Le cylindre fermant le disjoncteur sous l'action de l'air comprimé ; L. Le cylindre déclenchant le disjoncteur ; *l*. L'électro-aimant de commande de ce cylindre ; *m*. L'appareil enclenchant le disjoncteur et le contrôleur principal. — I. Organes pneumatiques de l'inverseur. — *i*. Electro-aimants de commande de l'inverseur. — N. Interrupteur automatique s'opposant à toute manœuvre intempestive de l'inverseur. — M. Interrupteur automatique s'opposant à tout avancement intempestif du contrôleur. — QQ. Induits et inducteurs des moteurs. — *p*. Interrupteur isolant les voitures motrices d'avant ou d'arrière. — *q*. Coupleurs assurant la continuité du circuit de commande dans toute la longueur du train. — *s*. Interrupteur de sablières. — T. Conduite d'air comprimé. — UU. Batteries d'accumulateurs. — V. Circuit d'éclairage. — X. Ligne de train pour la commande des servo-moteurs de toutes les motrices.

position limite ou dans l'autre, les deux positions correspondant aux deux sens de marche du train; et la plus simple façon de le réaliser consiste à commander l'arbre de l'inverseur à l'aide de deux pistons à air comprimé, par l'intermédiaire d'une crémaillère.

Cette solution apparaît clairement sur le schéma ci-joint (fig. 1), ainsi que sur la figure de

détail donnée plus loin (fig. 3), l'arbre et la roue dentée de commande de l'inverseur y étant représentés en 59, les cylindres en 60 et 61.

Lorsque nous ferons connaître le détail des appareils, nous expliquerons les dispositions prises pour éviter l'admission simultanée dans les deux cylindres et les conséquences qui pourraient en résulter.

Le *régulateur de marche* comporte, comme dans les équipements de tramways, un cylindre mobile en regard de frotteurs fixes reliés aux résistances de réglage et aux moteurs, et ce cylindre est muni de contacts tels que les moteurs sont d'abord, lors de la mise

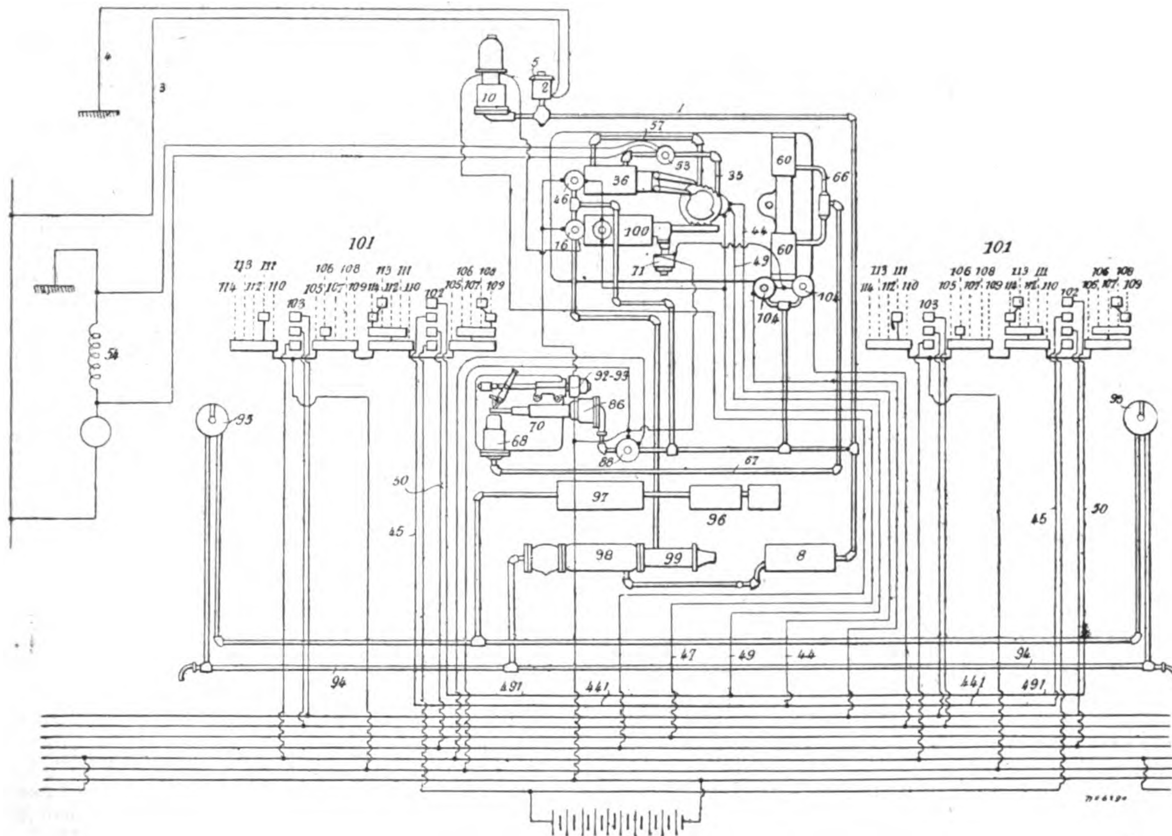


Fig. 2. — Schéma simplifié de la composition d'un équipement complet Westinghouse muni d'un poste de commande

en marche, reliés en série entre eux et avec les résistances sous le voltage de la ligne; et, après suppression graduelle des résistances, les moteurs sont reliés en parallèle entre eux et en série avec des résistances, qui sont progressivement supprimées.

Cette manœuvre est évidemment beaucoup plus complexe que la précédente, et le système Westinghouse la réalise ingénieusement avec l'air comprimé, de la manière suivante :

Il consacre à l'avancement du régulateur, de sa position de repos vers sa position de marche, un cylindre d'avancement A (fig. 1).

Au retour au zéro de l'appareil est consacré le cylindre de rappel B.

L'admission dans chacun d'eux est, comme pour les précédents cylindres, réglée par des soupapes électromagnétiques, ou électro-aimants spéciaux que nous désignons, pour les distinguer, par des petites lettres correspondant aux grandes lettres de désignation des cylindres :

a est l'électro commandant l'admission dans le cylindre A;

b l'électro commandant l'admission dans le cylindre de rappel B.

Un ingénieux système a été étudié en France pour commander l'avancement d'un contrôleur par crans, ce qui constitue en somme la difficulté sur laquelle nous appelons l'attention, et il le fait en utilisant un certain nombre de pressions différentes de l'air obtenues au moyen de la pression initiale de 5 kg : cm² des réservoirs de freins.

Le système Westinghouse procède différemment et utilise chaque fois, dans les cylindres A, B, la pleine pression des réservoirs, ou, en tous les cas, une pression uniforme dans tous les cylindres.

Le piston A étant normalement maintenu par ressorts à l'extrémité gauche de sa course, le premier cran d'avancement se réalise sous l'effet de la pression uniforme de l'air admis sur la face gauche du piston, et la course de celui-ci est complète. On voit dès lors que le cliquet entraînant la roue dentée de commande du régulateur réalise l'avancement d'un angle donné qu'on désirait effectuer. Il suffit, pour maintenir en cette position le contrôleur, d'une came convenable et d'un système à ressort analogue au dispositif des contrôleurs de tramways.

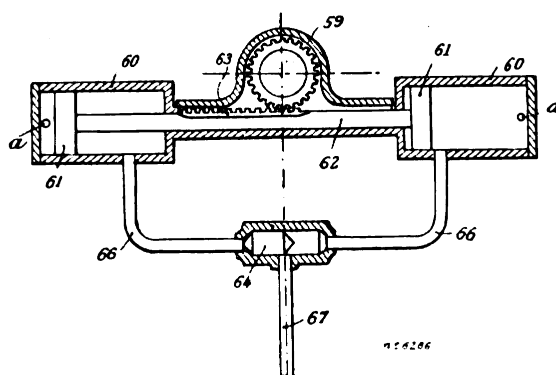


Fig. 3. — Inverseur de marche Westinghouse.

Les organes d'avancement, pistons et cliquets, peuvent revenir et effectuer un retour complet de droite à gauche, sous l'effet du ressort de rappel quand la pression de l'air a cessé. Par une nouvelle course semblablement obtenue de gauche à droite, on peut avancer d'un nouveau cran le contrôleur; et, suivant que ces alternatives de pression et de dépression sur la face gauche du piston, correspondant aux mouvements d'avancement ou de recul du piston A, seront commandées à volonté ou automatiquement, le système sera non automatique ou automatique.

Il est facile de voir que c'est à cette dernière solution que correspond le système Westinghouse, et que deux positions seules sont marquées de temps d'arrêt aussi longs qu'on le veut :

Ce sont, en définitive, les seules positions de marche du régulateur; la position de marche en série des moteurs sans résistances et celle de marche en parallèle sans résistances.

Avancement automatique et arrêts sont parfaitement définis par le schéma général ci-joint :

Sur lequel C représente l'ensemble du *dispositif automatique répétiteur*, destiné à répéter dans une succession régulière les courses du piston A dans les deux sens, et, par conséquent, la suite des déplacements du régulateur.

Et D, les contacts auxiliaires, qui provoquent automatiquement l'arrêt du régulateur à la position série ou à la position parallèle, selon que le conducteur du train veut réaliser l'une ou l'autre.

Les contacts auxiliaires de ce groupe D qui réalisent l'arrêt en position série sont représentés par S.

Ceux qui réalisent l'arrêt en position parallèle sont représentés par P.

Et ils entrent en jeu automatiquement à temps donné quand le régulateur a atteint les

positions voulues, car ils sont montés sur le cylindre même du régulateur ou sur un arbre enclenché avec lui, ou plus récemment à la manière que nous allons indiquer en étudiant plus loin les détails de construction des appareils.

Le dispositif répétiteur est donc seulement composé d'une pièce de contact γ, dont la course est limitée par deux butées δ, qui la font participer aux mouvements d'avancement ou de recul du piston A et provoquent la rupture ou l'établissement du contact entre elle et θ.

Ce contact de rupture $\gamma\theta$ est inséré dans le circuit de l'électro qui commande l'admission dans le cylindre A, et, par conséquent, provoque l'admission quand il y a contact; la fait cesser quand il y a rupture.

La rupture a donc lieu au bout de la course du piston à droite, et, par cette rupture, non seulement l'électro *a* fait cesser la mise en pression du cylindre, mais il le met en communication avec l'atmosphère, de sorte que le ressort suffit à ramener le piston A à l'autre extrémité de sa course; à ce moment, le contact $\gamma\theta$ est rétabli, et l'électro commande à nouveau l'admission et le déplacement de gauche à droite du piston A.

On voit donc que, sous la seule condition que le contact $\gamma\theta$ de l'électro *a* soit inséré dans le circuit, qui passe, bien entendu, par le commutateur de manœuvre du mécanicien, l'avancement est automatique et indépendant de ce dernier, puisque la rupture en $\gamma\theta$ a lieu indépendamment des mouvements de son interrupteur.

On peut concevoir cependant la possibilité d'arrêter le système en toutes positions voulues par un dispositif entravant, à la volonté du mécanicien, le jeu du piston automatique C, comme le font les contacts auxiliaires D aux positions série et parallèle.

Dans l'équipement représenté au schéma 1, le mécanicien ne possède pas cette faculté, et il a le choix seulement entre les quatre positions de son appareil de commande E (fig. 1 à gauche), qui réalisent :

A la position 1 et 2, le démarrage ou le retour au zéro de l'appareil;

A la position 3, la marche en série;

A la position 4, la marche en parallèle des moteurs.

L'*appareil du mécanicien*, ou commutateur multiple E, comporte deux séries de contacts fixes et un cylindre à segments métalliques solidaires, disposés comme ceux des cylindres de contrôleurs.

La figure 1 représente clairement sa construction, et le schéma général donné figure 2 fait nettement comprendre les connexions qu'il réalise dans chacune des positions utilisées pour le fonctionnement du train.

Avant d'y revenir pour expliquer le fonctionnement de l'appareil à chacune de ces positions, il est nécessaire de préciser les fonctions des appareils accessoires, tels que le *jeu des contacts auxiliaires* D, dont il est parlé plus haut, le *disjoncteur automatique* F, qui présente certaines dispositions accessoires très intéressantes dans les équipements Westinghouse et les *interconnexions de sécurité* que les constructeurs y ont jointes.

1° Définissons d'abord le rôle du coupe-circuit à répétition C, des contacts auxiliaires fixes et mobiles D et du plateau de court-circuit G :

Le manipulateur E ne peut relier que deux des trois contacts K L R, à savoir les deux derniers entre eux et au pôle positif de la batterie.

Il amène donc le courant au fil *r*, et, de là, au dispositif d'avancement automatique C, qui produit l'avancement en coupant ce courant en θ, comme nous l'indiquerons.

Le plateau G est destiné à entraver automatiquement cet avancement en cas de surcharge exagérée. Il met simplement en court-circuit $\gamma\theta$. Il laisse à nouveau fonctionner l'interrupteur d'avancement C quand la surcharge a cessé.

Le frotteur fixe K et les segments mobiles S et P du jeu de contacts auxiliaires D son destinés à entraver l'avancement aux positions *série sans résistance* (S) et *parallèle sans résistance* ou multiple (P). Ils agissent, quand arrive aux positions convenables le cylindre du contrôleur principal qui porte les segments D, en mettant en court-circuit, pour ces positions, l'interrupteur d'avancement C, comme le mettait en court-circuit le plateau G en cas de surcharge dans les moteurs.

On comprend donc bien le rôle et les dispositions générales des appareils D, E, G.

Restent le disjoncteur F et les interconnexions de sécurité dont il a été parlé plus haut.

Le *disjoncteur automatique* à maximum comporte les dispositions ordinaires des appareils de ce genre.

Les contacts électriques de rupture et les bobines de déclenchement ne sont pas représentés sur le schéma donné figure 1, mais les appareils que comporte exceptionnellement ce disjoncteur Westinghouse y sont représentés et méritent quelques explications.

Le premier de ces appareils permet la commande par air comprimé du disjoncteur; car une objection en effet assez grave à l'emploi des disjoncteurs pour protéger plusieurs voitures motrices dans un train, c'est qu'il est nécessaire de se déplacer de l'une à l'autre pour armer à la main leurs disjoncteurs en cas de déclenchement.

L'air comprimé se prêtant admirablement bien à la fermeture à distance de ces appareils. l'équipement Westinghouse représenté au schéma réalise cette fermeture au moyen d'un cylindre à air comprimé H.

De plus, les dispositifs de sécurité dont nous avons parlé réalisent une dépendance mutuelle entre ces appareils, de façon qu'il est impossible d'armer le disjoncteur lorsque le contrôleur n'est pas à sa position de repos, ou lorsque l'inverseur n'est pas dans l'une ou l'autre de ses positions limites.

De même l'inverseur ne peut être manœuvré et mis dans l'une ou l'autre de ses positions limites, aussi longtemps que le contrôleur n'est pas au zéro.

De même il est impossible de faire fonctionner le contrôleur lorsque le disjoncteur est ouvert, et le contrôleur fait automatiquement retour au zéro lorsque le disjoncteur déclenche.

Nous allons examiner les dispositions diverses adoptées à cet effet, à l'aide des figures de détail.

La fermeture du disjoncteur est obtenue par l'admission d'air dans le cylindre H ou 68, au moyen de la conduite 67 (fig. 4 et 5). Or, l'air est amené à la conduite 67 au moyen de dispositifs représentés figure 5, mais c'est dans l'une ou l'autre seulement des positions extrêmes du jeu de pistons 61 (fig. 3) que sont découverts les orifices par lesquels le tube 66 communique avec la source d'air comprimé.

En effet, l'air comprimé est admis, par les orifices extrêmes *a*, visibles (fig. 3) sur les faces extérieures des pistons de commande de l'inverseur, tandis que les tuyaux 66 qui l'envoient au disjoncteur sont à l'autre extrémité des cylindres et ne peuvent admettre l'air comprimé que si le piston est à bout de course.

Dès qu'il est arrivé à bout de course, par exemple dans la position que représente la figure 3, le tuyau 66 de droite admet l'air comprimé, dont l'action dans le raccord des tubes 66 déplace la valve 64 et découvre l'entrée du tuyau 67, par lequel l'air comprimé est transmis au piston H ou 68.

L'admission d'air dans ce cylindre H ou 68 produit la fermeture du disjoncteur.

La dépendance mutuelle entre le disjoncteur et le contrôleur est obtenue par l'interrup-

teur que représente schématiquement en N la figure 1, et avec une disposition différente et un peu plus de détails, la figure 6.

On voit que cet interrupteur est placé sur le trajet du retour commun des électro-aimants *i* de l'inverseur I, et ne met ce retour en communication avec le pôle permanent de la batterie qu'au cas où le cylindre de l'inverseur est au zéro.

Ainsi que le représente la figure 6, il se compose essentiellement d'un interrupteur 71 dont la pièce de fermeture 76 est portée par une tige 75 actionnée par la tige 28 du piston du cylindre de rappel 100 du contrôleur. Comme cela est représenté sur la figure 6, un ressort 76_1 retire la pièce de fermeture 76 d'entre les contacts 72 de l'interrupteur, l'extrémité de la tige 75 étant reçue dans une rainure 77 de la tige 28 du piston de rappel au zéro du contrôleur.

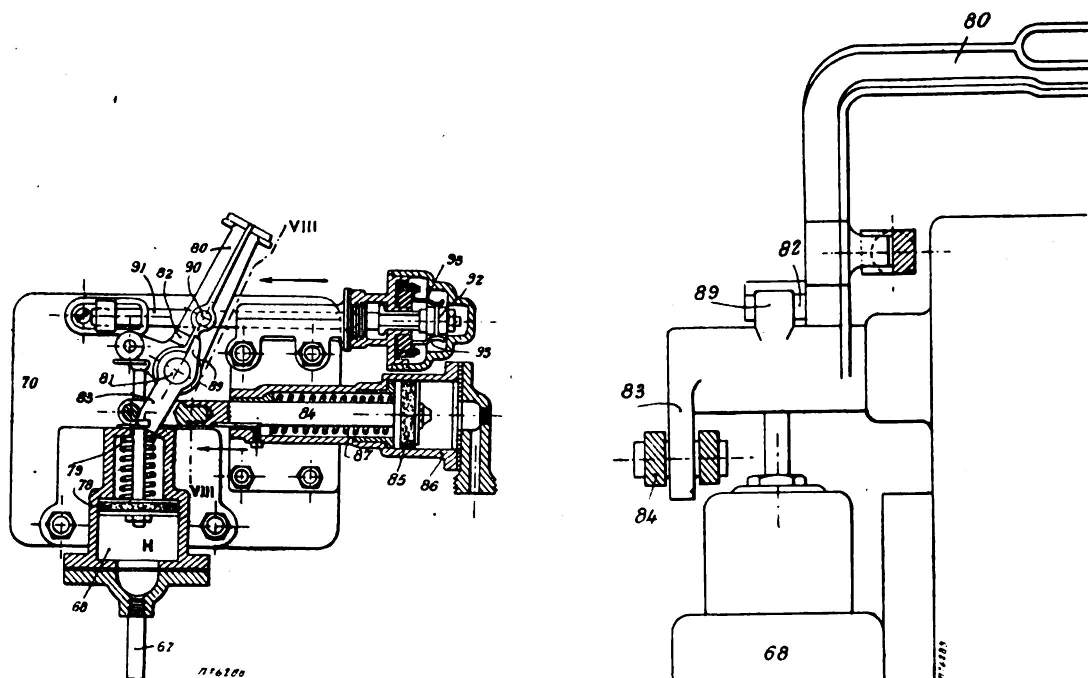


Fig. 4 et 5. — Vues de détails des organes de commande du disjoncteur.

La rainure 77 a une longueur suffisante sur la tige 28 pour que, lorsque le contrôleur est dans l'une quelconque de ses positions de marche, c'est-à-dire, quand les moteurs sont reliés au circuit alimentaire, le circuit des électro-aimants *i* du commutateur inverseur soit rompu. Quand, toutefois, le contrôleur est dans sa position de repos ou position zéro et que les moteurs ne sont pas reliés au circuit alimentaire, une partie sans rainure de la tige 28 du piston du cylindre de dégagement vient en contact avec l'extrémité de la tige 75 et agit contre le ressort 76_1 pour pousser cette tige vers l'extérieur afin d'amener la pièce de fermeture 76 en contact avec les ressorts 72 ; cela permet l'excitation des électro-aimants *i* du commutateur inverseur, et, par conséquent, le fonctionnement de ce commutateur et du disjoncteur. On voit donc que, avec cette disposition, il sera impossible d'actionner le disjoncteur pour fermer le circuit, tant que le contrôleur n'est pas dans la position zéro.

Le même résultat aurait pu être obtenu au moyen d'une soupape à air placée dans le tuyau 67 et actionnée pour couper l'air quand le contrôleur est dans l'une de ses positions de fonctionnement et lui permettra de passer quand le contrôleur est dégagé.

En se référant aux figures de détail du disjoncteur lui-même (n°s 4 et 5), nous rappellerons que le disjoncteur proprement dit peut être d'un type quelconque, pourvu que sa partie mobile soit pivotée sur l'axe 81. Le bras de manœuvre de l'appareil est ici représenté en 80; il est muni, sur l'un de ses côtés, d'une oreille 82. Sur l'axe 81 est monté librement un bras 83 qui vient en prise avec la tige 84 d'un piston 85 placé dans un cylindre 86 et soumis à l'action d'un ressort 87. Le bras 83 est muni d'une saillie 89 disposée pour venir en contact avec l'oreille 82.

Les dispositifs actionnant le disjoncteur pour fermer le circuit, consistent en un cylindre H ou 68, alimenté d'air comprimé par le tuyau 67; dans ce cylindre peut se mouvoir un piston 78, sur lequel agit un ressort 79. Le bras 80 est muni d'une goupille 90, qui vient en prise avec une tige 91 ayant à son extrémité extérieure une pièce de contact 92 pour établir et rompre la connexion entre les deux ressorts de contact 93 qui sont dans le circuit entre l'aimant de commande 46 du tambour contrôleur et l'une des bornes de la batterie électrique.

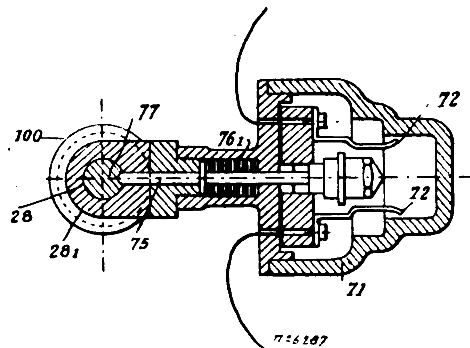


Fig. 6. — Interrupteur enclenchant le disjoncteur et le contrôleur principal.

Grâce à ces dispositions l'interrupteur 93 réalise l'enclenchement voulu entre le disjoncteur et le contrôleur, pour empêcher que celui-ci ne soit mis en mouvement quand le disjoncteur est ouvert, car alors la connexion entre les contacts 92, 93 est rompue et isole le pôle libre du solénoïde de commande *b* (schémas 1 et 2) du pôle correspondant de la batterie.

Le commutateur peut être aussi mis en circuit avec l'aimant *b*, qui commande le retour au zéro du contrôleur, de manière que, en cas de disjonction, le circuit de cet aimant est rompu, et le contrôleur revient automatiquement au zéro. Le circuit de l'aimant ne peut être établi et le contrôleur libéré et déplacé de sa position zéro avant que ce circuit soit fermé, c'est-à-dire le disjoncteur fermé.

Le diagramme 2 représente les connexions entre l'appareil de commande, le disjoncteur, le dispositif de freinage et les commutateurs à main pour une voiture seule ou pour un convoi de voitures, et nous allons rapidement en décrire le fonctionnement.

On y reconnaît schématiquement :

La tuyauterie 94 du train, les robinets 95 du mécanicien, les pompes 96, les réservoirs principaux 97, les réservoirs auxiliaires 98, les cylindres de frein 11, les réservoirs supplémentaires 12 et la tuyauterie entre ces appareils, les cylindres de commande 36 et les cylindres de dégagement 14.

Les appareils de commande à main des deux postes de la voiture sont représentés en 101, en développement; pour montrer les positions relatives des contacts fixes et mobiles.

L'appareil est représenté dans la position qu'il occupe quand les circuits sont tous ouverts, c'est-à-dire la position zéro.

Position 1. — Si la partie mobile du commutateur de l'un quelconque des postes est déplacée d'un cran, de façon à amener les touches respectivement dans l'une des positions 105 ou 110, le courant de la batterie électrique passe par l'aimant 88, ce qui produit l'ouverture de la soupape correspondante et l'admission de l'air au cylindre 86, et le placement du bras 83 du disjoncteur dans une position qui permettra la fermeture de celui-ci (fig. 1 et 2).

Position 2. — Un déplacement plus considérable ; jusqu'à la position 100 ou 111, provoque la fermeture du circuit de la batterie à travers l'un ou l'autre des aimants 104 du commutateur inverseur, suivant la direction dans laquelle le commutateur a été déplacé, ceci produisant l'admission de l'air au cylindre correspondant 60, pour actionner le commutateur inverseur et alors admettre l'air au cylindre 68 du disjoncteur qui ferme ce dernier s'il ne l'est pas déjà. Cette fermeture du disjoncteur produit évidemment la fermeture de l'interrupteur 92-93 et assure par lui la continuité du circuit de commande du contrôleur. L'aimant 16 est alors excité par suite de la fermeture de l'interrupteur 14-15, et permet l'échappement de l'air du cylindre 100 de rappel au zéro du contrôleur.

Position 3 *ou marche en série.* — Quand cette position est atteinte, l'appareil est tout prêt pour la mise en marche du contrôleur vers l'avant, celle-ci est produite en amenant le

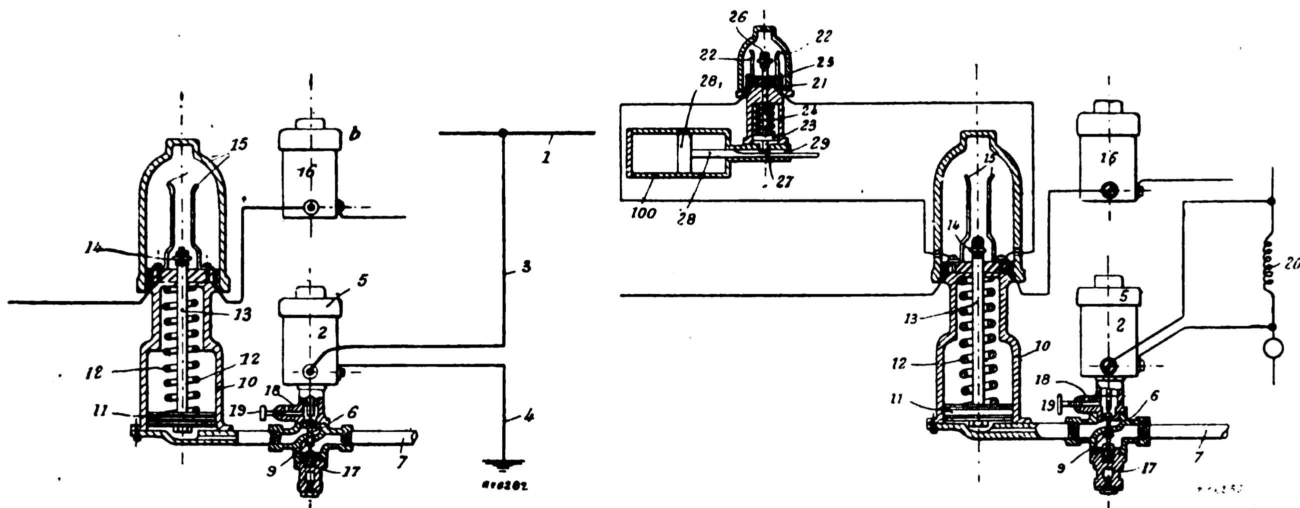


Fig. 7 et 8. — Interrupteur automatique entravant l'avancement du contrôleur en cas de surcharge.

commutateur de manœuvre dans la position 108 ou 113, position pour laquelle l'aimant 46 du cylindre de commande est intercalé dans le circuit de la batterie. Dans la position 107 ou 112, le circuit passant par les aimants du commutateur inverseur est ouvert, permettant ainsi l'échappement de l'air des cylindres de ce commutateur et du disjoncteur après que ces appareils ont été actionnés.

Il faut remarquer que le circuit de l'aimant du cylindre de rappel 100, fermé à la position 106 ou à la position 111, est maintenu fermé pendant la suite du mouvement en avant du commutateur, et que si on désire faire aller la voiture ou le train à une vitesse moins grande que celle correspondant à la position de marche en série du contrôleur, on peut ramener le commutateur de la position 108 ou 113 à la position 106 ou 111 dès que la vitesse désirée est atteinte, ce qui provoque la rupture du circuit de l'aimant 46 et arrête le mouvement du contrôleur aussi longtemps que le commutateur de manœuvre reste stationnaire.

Si on laisse le commutateur de manœuvre à la position 106 ou à la position 113 jusqu'à ce que le contrôleur soit attiré à la position de marche en série, il y a arrêt automatique du contrôleur grâce à la disposition représentée figure 3, qui a déjà été décrite.

Position 4 *ou marche en parallèle.* — Si l'on veut faire aller plus loin le contrôleur pour connecter les moteurs en parallèle, on agit sur le commutateur pour amener les touches dans la position 100 ou la position 114, le mouvement du contrôleur reprend alors et se

***

continue jusqu'à ce que la position de couplage en parallèle sans résistance soit atteinte ; à ce moment le contrôleur est arrêté au moyen de l appareil représenté figure 3.

Il est d'ailleurs évident que l'on peut obtenir une vitesse comprise entre celle qui correspond à la position de marche en série et celle qui correspond à la position de marche en parallèle, en ramenant en arrière le commutateur à la position 106 ou à la position 111 quand la vitesse désirée est atteinte.

Les figures 7 à 10 représentent les appareils accessoires, ou tout au moins leurs principes de fonctionnement.

Par exemple, l'appareil représenté figure 7 a pour objet d'interrompre le circuit des moteurs si la force motrice vient à manquer pendant un temps suffisant pour réduire d'une façon appréciable la vitesse du train.

La figure 8 représente un dispositif plus perfectionné, visant au même résultat.

On voit que dans la figure 7 l'électro-aimant 2, enroulé pour la tension du réseau, est monté en dérivation sur celui-ci au moyen des conducteurs 3 et 4. Son armature 5 est reliée à une soupape 6 placée dans le tuyau 7 venant du réservoir supplémentaire 8, de sorte que l'excitation de l'électro-aimant provoque l'admission de l'air comprimé dans le cylindre 10 au-dessous du piston 11, que cette pression soulève, malgré le ressort antagoniste 12.

La tige 13 du piston porte une pièce 14 de fermeture de circuit, laquelle, lorsque le piston est soulevé, relie les deux contacts 15 qui sont en circuit avec l'aimant 16 qui produit le retour du contrôleur. Il est facile de voir que, avec cette disposition, si la force motrice diminue assez ou disparaît complètement, la soupape 6 est soulevée par le ressort 17 placé au-dessous d'elle, fermant l'orifice 9 et mettant le cylindre 10 en communication avec l'atmosphère par une petite ouverture 18, dont on peut faire varier les dimensions au moyen d'une vis de réglage 19. Si la force motrice manque assez longtemps pour qu'il en résulte une diminution sérieuse de la vitesse du train, l'air s'échappe du cylindre 10 par l'ouverture 18 en quantité suffisante pour permettre au ressort 12 de retirer la pièce de fermeture de circuit 14 d'entre les contacts 15, d'où résulte l'ouverture du circuit de l'aimant 16 qui dégage le contrôleur et le retour de celui-ci à sa position zéro. L'ouverture 18 est de préférence assez petite pour empêcher la rupture du circuit du moteur quand le manque de force motrice n'est que momentané.

L'appareil perfectionné de la figure 8 fonctionne de même, si ce n'est que l'électro-aimant 2 est monté en dérivation sur les inducteurs de l'un des moteurs, et qu'un appareil supplémentaire est employé pour mettre hors circuit ou en court-circuit l'interrupteur 14 et 15 au moment convenable.

L'appareil peut présenter diverses dispositions, celle qui est représentée comporte l'emploi d'un interrupteur 21, dont les contacts fixes 22 sont reliés respectivement aux contacts fixes 15 de l'interrupteur 14 et 15. Le piston 23, qui est déplacé dans un sens par un ressort 24, porte sur sa tige 25 une pièce de contact 26 formant pont pour réunir les contacts 22. La tige 25 fait saillie en-dessous du piston et est munie d'un galet 27 qui porte sur un côté de la tige 28 du piston de dégagement 28_1 du contrôleur ; cette tige est entaillée ou rainurée sur une partie 29 de sa longueur, de façon que quand l'air s'échappe du cylindre de dégagement du contrôleur et que le piston est en conséquence retiré, l'interrupteur 21 s'ouvre, tandis que quand le piston est ramené à sa position avant pour renvoyer le contrôleur à sa position zéro, le galet 27 sort de la rainure de la tige, d'où résulte le soulèvement du piston 23 ainsi que la fermeture de l'interrupteur 21 et la mise en court-circuit de l'interrupteur 14 et 15. La longueur de la partie rainurée de la tige est

de préférence suffisante pour que l'interrupteur 21 reste fermé jusqu'à ce que le contrôleur ait dépassé le premier point dans la connexion en série des moteurs, après quoi le galet tombe dans la rainure ou entaille et produit ainsi l'ouverture de l'interrupteur 21 et la mise en état de fonctionnement de l'appareil de sûreté.

Le dispositif qui sert à arrêter automatiquement le fonctionnement du contrôleur quand il atteint la position pour laquelle les moteurs sont couplés sans résistance en série ou en parallèle est insuffisamment représenté par les figures 1 et 2, et son mode de construction se comprend mieux par l'examen des figures 9 et 10.

L'arbre 31 du contrôleur porte une roue à rochet 30, dont la face inférieure présente une saillie 32 correspondant à la position du cylindre qui effectue le couplage en série des moteurs sans résistance. Une plus grande saillie 33 de la même roue à rochet correspond à la position de couplage en parallèle sans résistance, et ces deux saillies sont à égale distance de l'axe du cylindre. Sur la même circonférence concentrique que celui-ci est l'axe du cylindre 34.

Ce cylindre est placé au-dessous de la roue à rochet et relié par une conduite 35 à l'ex-

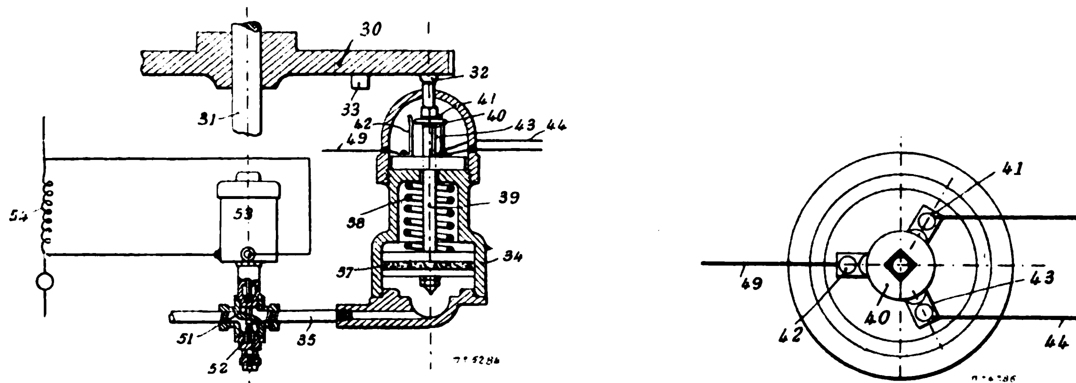


Fig. 9 et 10. — Détails de l'appareil d'arrêt automatique aux positions série et parallèle.

trémité antérieure du cylindre de commande 36 du contrôleur ; le cylindre 34 est muni d'un piston 37 sur lequel agit un ressort 38 et dont la tige 39 peut être amenée en contact avec l'une ou l'autre des saillies 32, 33 de la roue à rochet.

La tige 39 est munie d'une pièce de fermeture 40 qui relie les ressorts de contact 41, 42 et 43 quand le piston 37 est dans sa position inférieure. Le contact 43 est plus court que les contacts 41 et 42 et est relié électriquement à celui des contacts fixes du commutateur de manœuvre à main qui établit la connexion des moteurs en parallèle au moyen des conducteurs 44, 44_1 et 45. Le contact 41 est relié à l'une des bornes de l'aimant 46 qui contrôle l'admission de l'air comprimé dans le cylindre de commande 36 et le contact 42 est relié à celui des contacts fixes du commutateur de manœuvre qui assure la connexion en série des moteurs au moyen des conducteurs 49, 49_1 et 50 (voir fig. 9).

Le tuyau 35, conduisant au cylindre 34, est pourvu d'une soupape limitatrice 51, qui, par la pression d'un ressort 52, est ordinairement maintenue en position pour permettre le passage de l'air à travers le tuyau, mais qui est relié à l'armature d'un électro-aimant 53, monté en parallèle avec l'enroulement de l'aimant de champ 54 de l'un des moteurs, de sorte que si le courant des moteurs dépasse un maximum déterminé, l'armature de l'aimant 53 actionne la soupape 51 de la manière connue, pour intercepter la communication entre le cylindre de commande 36 du contrôleur et le cylindre 34 et mettre ce dernier en communication avec l'atmosphère pour l'échappement.

Ce dispositif fonctionne de la manière suivante :

Tant que la tige du piston 39 n'est pas au-dessous de la saillie 32 de montage en série ou de la saillie 33 de montage en parallèle de la roue à rochet 30, elle monte pratiquement de toute sa course chaque fois que le piston du cylindre de commande 36 du contrôleur se déplace en avant et découvre l'orifice du tuyau 35 de façon à admettre l'air comprimé dans le cylindre 34. Ce mouvement ascendant de la tige de piston 39 rompt le contact entre le frotteur 41 et les contacts 42 et 43, d'où résulte la rupture du circuit de l'aimant 46, la mise à l'échappement du cylindre de commande 36 et le rappel du piston de commande par son ressort. Le cylindre 34 s'étant aussi vidé par suite de l'évacuation de l'air du cylindre 36, le ressort 38 force le piston 37 à se mouvoir vers le bas et à rétablir la connexion entre le contact 41 et les contacts 42 et 43 ; l'aimant 46 se trouve ainsi réexcité et l'air comprimé est encore admis dans le cylindre 36, il en résulte que le tambour contrôleur tourne encore d'un pas vers l'avant. Ce fonctionnement se répète automatiquement, jusqu'à ce que le tambour contrôleur soit venu dans une position telle que la tige de piston 39, dans son mouvement ascendant, rencontre la saillie 32 ; ceci fait, la connexion entre le contact 41 et le contact 42 ne sera pas rompue, par conséquent le circuit de l'aimant 46 restera fermé et le fonctionnement du contrôleur sera arrêté.

Si le commutateur de manœuvre à main est amené à la position qui correspond à un montage des moteurs en parallèle, le contact 43 est celui qui agit pour l'excitation de l'aimant 46, et puisque ce contact 43 est plus court que le contact 42, le circuit de l'aimant 46 est rompu même quand la tige de piston 39 vient en contact avec la saillie 32 ; par conséquent, le contrôleur est actionné continuellement jusqu'à ce que la saillie 33 arrive à la position dans laquelle a lieu le contact avec la tige de piston 39, ceci arrivant quand le tambour contrôleur est dans une position qui correspond au montage des moteurs en parallèle sans résistance. La saillie 33 est faite d'une longueur telle que la tige de piston 39 ne peut pas monter suffisamment haut pour rompre le circuit entre les ressorts de contact 41 et 43 ; dans ce cas, le circuit de l'aimant 46 étant maintenu, la rotation du tambour contrôleur est arrêtée.

Les dispositifs d'enclenchement du disjoncteur et du contrôleur ayant été définis ci-dessus, nous n'avons pas à y revenir, et nous nous contenterons de renvoyer nos lecteurs à la figure 6 pour l'indication des détails de construction d'un interrupteur établissant la dépendance voulue entre les deux appareils.

La représentation moins schématique des derniers équipements de Brooklyn a été donnée figure 1.

Elle représente la disposition d'un équipement complet à deux postes de commande, et on remarquera que deux batteries sont employées pour alimenter le circuit de commande, pour que l'une se charge pendant la décharge de l'autre.

On effectue la charge en mettant la batterie en série avec l'éclairage au moyen d'interrupteurs bipolaires à double direction, disposés de manière qu'une des batteries soit toujours en charge.

La constitution des équipements de la Mersey est la même, mais les voitures comportent un seul poste de commande, et, à cette différence près, les dispositions de chaque voiture motrice sont les mêmes que celles de la figure 1.

Les dispositions ainsi réalisées sur une des voitures motrices se répètent sur toutes les voitures munies de postes de commande, et les fils de ligne qui les relient, nettement représentées à la partie inférieure de la figure 1 forment une ligne continue reliant les diverses voitures motrices et traversant sans interruption les remorques.

Toutes les connexions de cette ligne sont à basse tension, et leur passage d'une voiture à l'autre du train est assuré au moyen de coupleurs à 7 fils, dont nous ne donnerons ni dessins, ni photographies, puisqu'il présente beaucoup d'analogie avec ceux des systèmes Sprague et Thomson-Houston. Toutefois, la différence essentielle dans leur fonctionnement est qu'ils ne fonctionnent pas sous tension aussi élevée que les premiers, mais sous la faible tension de la batterie alimentant le réseau de commande.

Les coupleurs sont formés de parties mâles et de parties femelles, les parties femelles étant fixées aux voitures au-dessous de la plate-forme et les deux parties mâles étant reliées par une petite longueur de câble de jonction.

Les détails de construction concernant plus particulièrement l'application la plus récente de ce système, celle qui vient d'être faite au tunnel de la Mersey River, Liverpool à Birkenhead (Angleterre), trouveront mieux leur place dans la description que nous en comptons donner très prochainement.

J.-W. Blackstone.

ÉTUDE SUR LES DÉFORMATIONS MOLÉCULAIRES
D'UN BARREAU D'ACIER SOUMIS A LA TRACTION

I. — Détermination de la limite d'élasticité vraie.

Existe-t-il une limite d'élasticité ? — Lorsqu'un barreau d'acier est soumis à un effort de traction, il subit deux sortes de déformations : 1° une modification de ses dimensions ; 2° un changement de structure moléculaire tel que la résultante des réactions élastiques inter-moléculaires vienne faire équilibre à l'effort extérieur.

Or, l'expérience prouve que les propriétés d'un corps peuvent changer sans que les dimensions de ce corps varient. Donc, du fait que l'application momentanée d'un effort de traction sur un barreau ne produit aucun allongement notable on ne peut déduire que la structure du métal n'a pas été modifiée par l'application de l'effort et que le barreau est resté identique à lui-même. C'est pourquoi, nous complétons, de la façon suivante, la définition de la limite d'élasticité vraie de traction.

La limite d'élasticité est l'effort maximum dont l'application momentanée ne produit aucune modification notable ni des dimensions du barreau, ni des propriétés physiques ou chimiques du métal.

Nous avons étudié la variation de la perméabilité magnétique produite sur des barreaux d'acier par des alternances de charges et de décharges, et nous avons pu ainsi constater que la perméabilité ne subissait pas de variations permanentes appréciables tant que l'effort restait constamment inférieur à une certaine limite.

C'est cette dernière valeur de l'effort que nous adoptons pour la mesure de la limite d'élasticité vraie.

Elle est, en général, très voisine de la limite des allongements proportionnels ; mais elle peut être très inférieure à la limite apparente qui est indiquée par la chute du levier de la machine à traction, par exemple dans le cas d'un barreau d'acier dur trempé à l'eau.

Dans tous les cas, la détermination de la limite élastique que nous venons de définir est toujours certaine (alors que celle de la limite apparente peut ne pas l'être, par exemple

dans le cas d'un barreau fortement trempé ou écroui) et nous verrons qne cette détermination peut toujours se faire avec la plus grande facilité.

Cas d'un métal très hétérogène. — Toutefois, on peut se trouver embarrassé si le métal expérimenté est très hétérogène. Par exemple, dans le cas d'un barreau détaché à froid dans une pièce de moulage, on constate que l'application momentanée d'un effort parfois très faible peut produire une modification permanente de la perméabilité du métal. Un tel acier apparaît alors comme un aggloméral très hétérogène dans lequel les éléments de

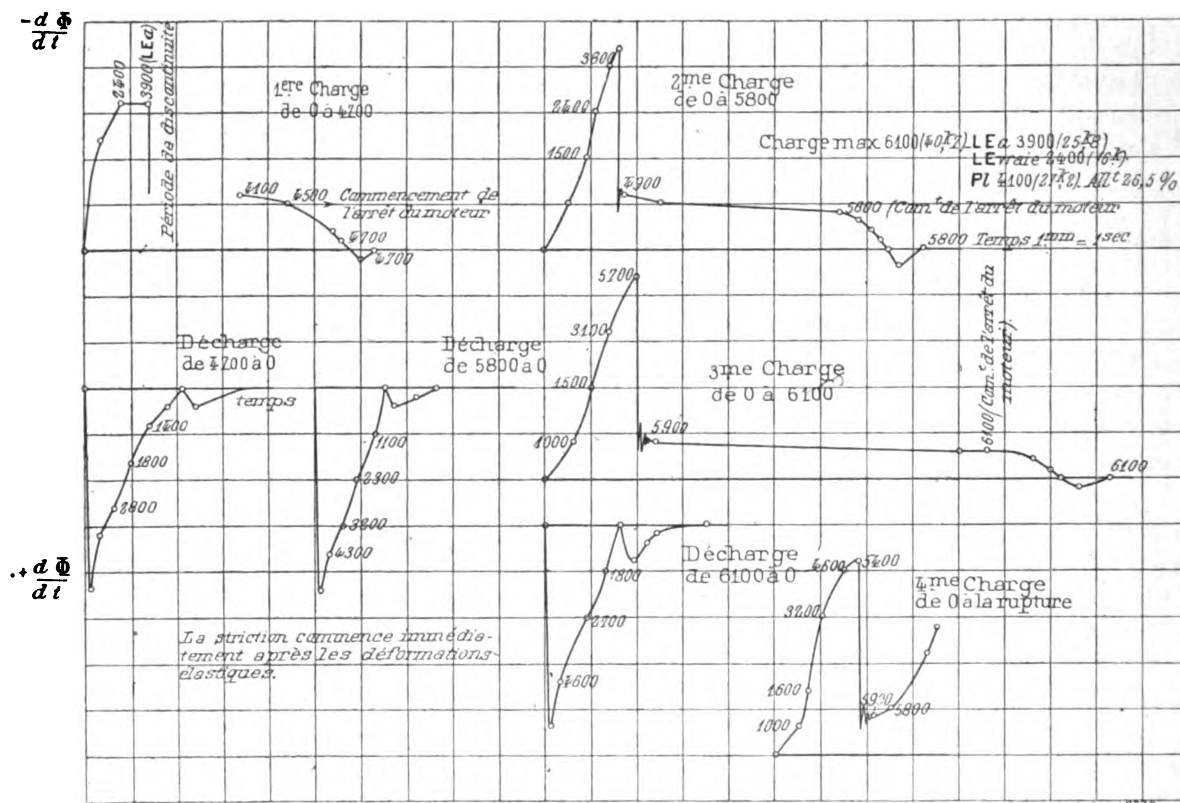


Fig. 1. — Barreau d'acier doux recuit soumis à des tractions successives.

volume peuvent avoir des duretés très différentes, de sorte que la limite d'élasticité d'un acier moulé semble ne pas exister ou dans tous les cas être très basse.

Procédé employé pour la détermination de la limite d'élasticité vraie. — Le barreau tractionné est placé comme noyau d'une bobine comprenant deux enroulements superposés: 1° un circuit primaire relié aux bornes d'une pile ; 2° un circuit secondaire rejoint à un galvanomètre ordinaire.

Le barreau éprouvé est donc traversé par un flux qui se ferme par le bâti de la machine à traction, et à une valeur donnée P de l'effort de traction correspond une valeur donnée Φ_P du flux.

Si on fait croître d'une façon quelconque l'effort depuis P jusqu'à une valeur supérieure P_1, le flux décroît depuis Φ_P jusqu'à une valeur inférieure Φ_{P_1}.

Supposons que sous l'influence de l'effort P_1 le barreau n'ait subi aucune modification

permanente, si on fait décroître l'effort de P_1 jusqu'à P, le flux devra reprendre la valeur Φ_P : *si l'effort de traction parcourt un cycle, la variation totale de la reluctance du barreau est nulle, tant que l'effort maximum supporté par le barreau reste inférieur à la limite d'élasticité vraie.*

Mesure pratique de la limite d'élasticité vraie. — La déviation galvanométrique à l'instant t est proportionnelle à $\frac{d\Phi}{dt}$, par suite, l'aire de la courbe des déviations galvanométriques en fonction du temps, mesurée entre les charges P et P_1, exprime la variation du flux dans cet intervalle, et cela quelle que soit la vitesse de traction (constante ou

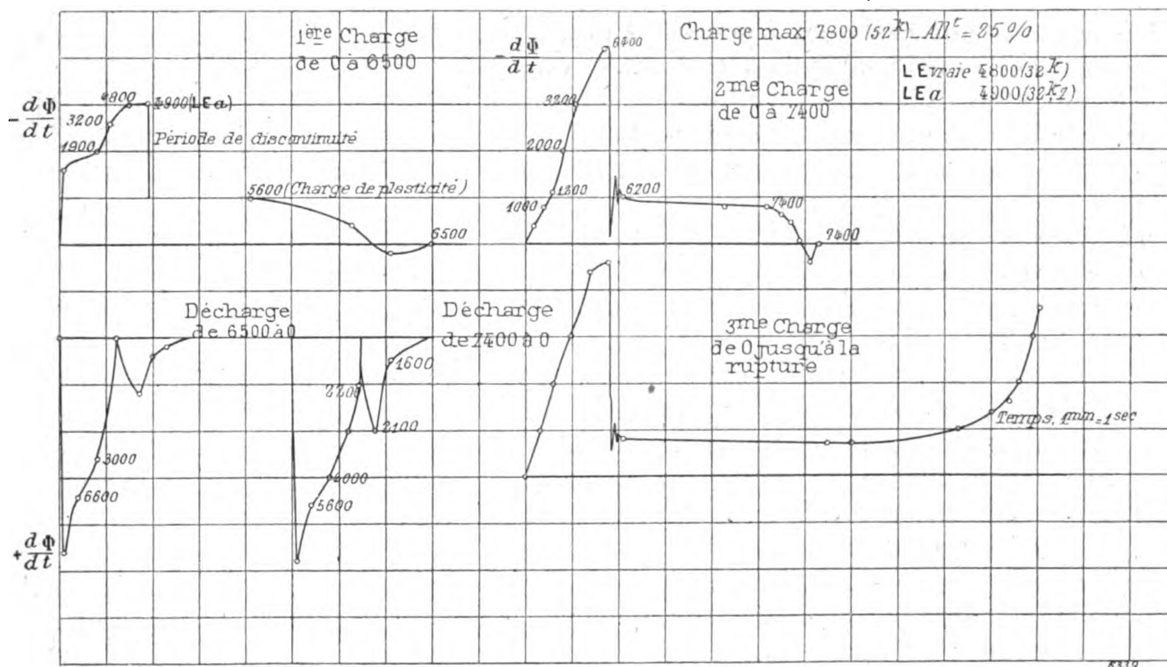


Fig. 2. — Barreau d'acier demi dur recuit soumis à des tractions successives.

variable). Il en résulte que : *Si l'effort parcourt un cycle, l'aire correspondant aux variations croissantes de l'effort est égale et de signe contraire à l'aire qui correspond aux variations décroissantes, tant que la limite d'élasticité vraie n'a pas été dépassée.*

Mais, si nous examinons les courbes obtenues en tractionnant des barreaux avec une vitesse constante, nous constatons que chaque barreau éprouvé ne semble pas avoir subi de déformations permanentes appréciables, tant que la déviation galvanométrique maximum n'a pas été atteinte. Au contraire, si cette déviation galvanométrique a été dépassée, le flux ne reprend plus sa valeur initiale après la décharge du barreau.

Ce phénomène se vérifie, d'ailleurs, quelque soit l'état d'écrouissage du barreau.

Nous sommes donc ainsi amené à cette conclusion : *la limite d'élasticité vraie correspond sensiblement au maximum de la déviation galvanométrique.*

Nous donnons, plus loin, une explication théorique de ce phénomène.

II. — Expression des déformations élastiques et permanentes

Si l'effort de traction parcourt un cycle, la variation totale du flux est la résultante de toutes les déformations permanentes du barreau, de quelles natures qu'elles soient.

L'aire de la courbe qui correspond aux variations croissantes de l'effort peut donc représenter la totalité des déformations du barreau; l'aire de la courbe, qui correspond aux efforts décroissants, peut représenter les déformations purement élastiques; enfin, la différence entre ces deux aires est l'image des déformations permanentes.

Les valeurs absolues de ces aires ne présentent pas beaucoup d'intérêt, et nous ne considérons que leurs rapports : l'étude des variations de ces rapports peut nous fournir des indications précises sur les modifications moléculaires d'un barreau soumis à la traction.

III. — Variation des déformations élastiques

Les déformations élastiques augmentent depuis le début de la traction jusqu'au commencement de l'étranglement du barreau. A ce moment, l'effort spécifique de traction continue à augmenter dans la zone d'étranglement, mais il ne tarde pas à diminuer dans toute la partie du barreau qui reste cylindrique. Dans toute cette partie cylindrique, les réactions inter-moléculaires vont donc en décroissant, et le métal tend à y reprendre sa constitution moléculaire initiale.

Barreaux recuits. — Les déformations élastiques augmentent rapidement depuis le début de la traction jusqu'à la limite d'élasticité vraie; à partir de ce moment, et jusqu'à *la charge de plasticité*, les déformations élastiques augmentent plus lentement et d'une façon irrégulière : c'est la période *des petits allongements permanents*.

Période plastique. — Dans le cas d'un acier doux, les déformations élastiques n'augmentent plus que très lentement, à partir de la charge de plasticité ; mais, pour un métal dur, l'augmentation des déformations élastiques est toujours assez appréciable. Néanmoins quelle que soit la nuance du métal, les éléments de volume semblent peu se modifier après la charge de plasticité : ils ne font guère que glisser les uns sur les autres sans changer de constitution moléculaire.

Barreaux trempés. — Les déformations élastiques augmentent rapidement, depuis le début de la traction jusqu'à la limite d'élasticité vraie ; à partir de ce moment, elles croissent de moins en moins vite, mais néanmoins d'une façon notable, jusqu'à l'instant où l'étranglement du barreau commence.

Les barreaux d'acier dur trempés à l'eau ne deviennent jamais plastiques, à la façon des barreaux recuits, leur transformation moléculaire se poursuit activement pendant toute la durée de leur traction. Le maximum de la variation de la réluctance indique seulement le commencement des glissements irréversibles des éléments de volume du barreau ; la limite élastique apparente correspond seulement à un glissement important, mais la structure moléculaire des éléments de volume se modifie d'une façon continuelle depuis le début de la traction jusqu'à la rupture du barreau.

IV. — Variations de la perméabilité et de la réluctance du barreau

La perméabilité décroît d'une façon régulière jusqu'à ce que la limite d'élasticité vraie soit atteinte, et, à ce moment, la vitesse de sa variation passe par un maximum ; à partir de ce maximum, la perméabilité varie d'une façon irrégulière et même discontinue, jusqu'à ce que le barreau devienne plastique ; elle diminue alors très lentement et avec une vitesse sensiblement constante, jusqu'à ce que l'étranglement du barreau commence ; pendant la période de striction, la perméabilité continue à décroître dans la zone d'étranglement, mais elle augmente dans tout le reste du barreau et il en résulte que la perméabilité moyenne du barreau se met à croître dès que la striction commence.

Si la force magnétisante employée est considérable, la perméabilité du métal est relativement faible, et il en résulte que, pendant la période plastique, la réluctance du barreau ne varie guére que par le fait du changement de ses dimensions : elle va en croissant constamment depuis le commencement de la traction jusqu'à la rupture du barreau ; la vitesse de la variation de la réluctance passe par un maximum lorsque la limite d'élasticité vraie est atteinte, elle devient minima au début de l'étranglement puis croît rapidement jusqu'à la rupture du barreau. Mais, si la force magnétisante employée est relativement faible, les variations de la perméabilité sont très accusées et deviennent prédominantes dans la varia-

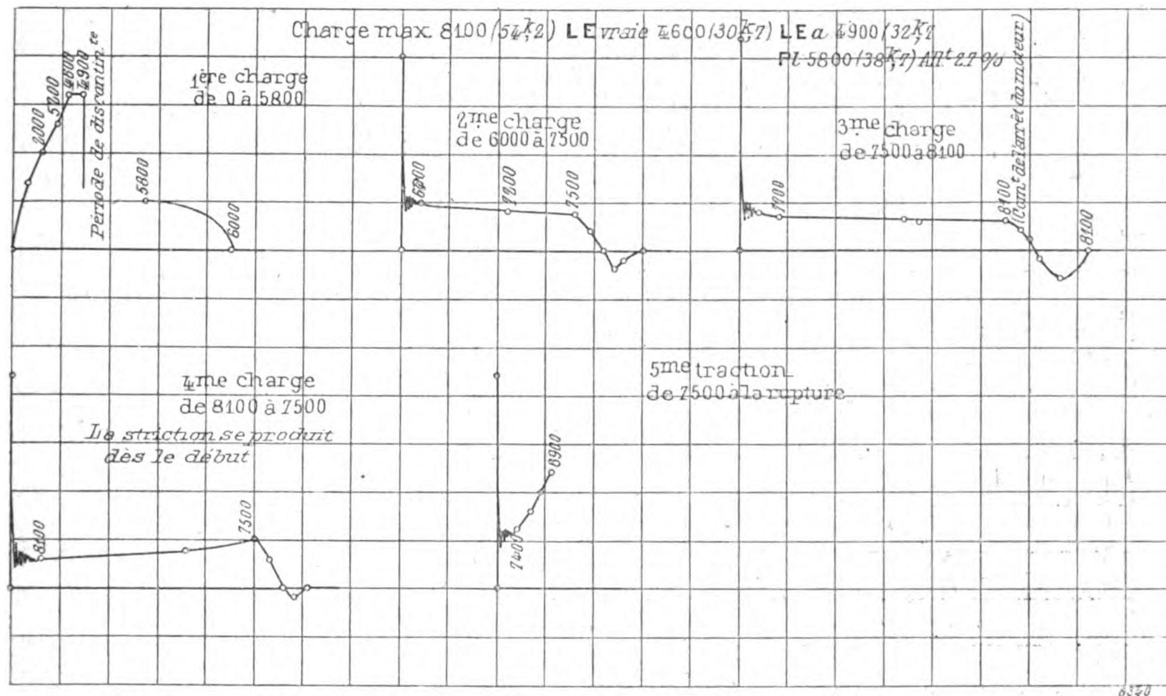


Fig. 3. — Barreau d'acier demi dur recuit soumis à des tractions successives.

tion de la réluctance du barreau, même pendant la période plastique. Dans ces conditions, la réluctance du barreau augmente moins vite, au début de la striction, et il peut même arriver qu'elle décroisse malgré la formation de l'étranglement. S'il en est ainsi, le flux devient croissant et, par suite, la déviation galvanométrique change de sens pendant le cours de la striction ; mais, si l'étranglement s'accuse bien, le flux finit toujours par redevenir décroissant et la réluctance du barreau croissante.

A la rupture, la réluctance du barreau et, par suite, la déviation galvanométrique augmentent brutalement.

L'augmentation du flux et, par suite, la diminution de la réluctance du barreau, au moment de la striction, s'observent souvent dans le cas de la traction d'un barreau d'acier dur tempé à l'eau. D'ailleurs, pour tous ces barreaux, le début de la striction se manifeste toujours par une augmentation plus lente de leur réluctance : la déviation galvanométrique diminue plus vite et elle peut devenir négative dans certains cas.

Pour un barreau recuit, le phénomène est, en général, inverse du précédent et la striction se manifeste par une augmentation plus rapide de la réluctance du barreau, c'est-à-dire par une augmentation plus rapide de la déviation galvanométrique. Mais, si on a soin

d'opérer avec une force magnétisante très faible, l'augmentation de la perméabilité moyenne du barreau s'observe parfaitement au début de la striction, et de la même façon qu'avec un barreau d'acier dur trempé.

V. — Variation des déformations permanentes

Les déformations permanentes sont de deux natures distinctes : 1° glissements irréversibles des éléments de volume du barreau ; 2° transformations moléculaires permanentes de ces éléments de volume.

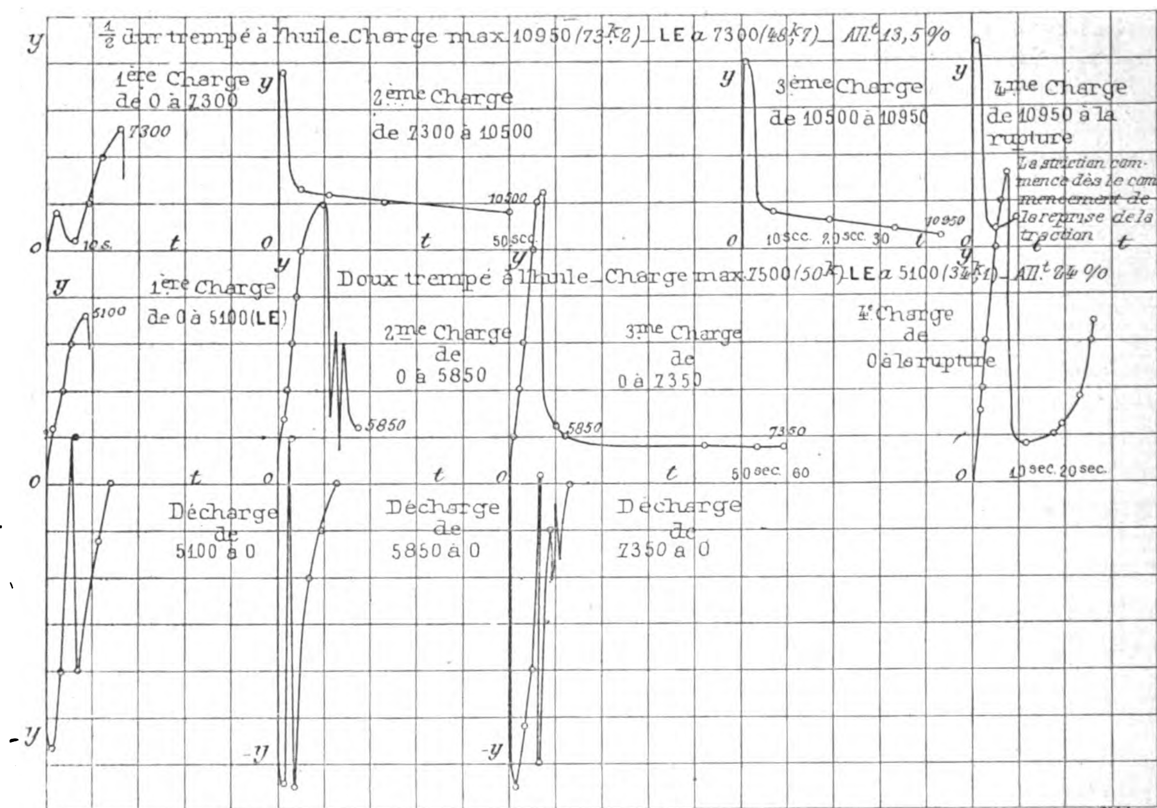


Fig. 4.

Les glissements irréversibles commencent immédiatement après le maximum de la variation de la reluctance, et la limite apparente n'est que l'effet d'un glissement important.

Dans le cas d'un barreau recuit, ces glissements s'opèrent par secousses, et, il en résulte, à chaque fois, une variation brusque de la réluctance du barreau, ce qui se traduit par une véritable *oscillation brusque* de l'image galvanométrique ; chez un barreau fortement trempé, d'une nuance quelconque de métal, les glissements s'opèrent toujours d'une façon absolument continue.

Ecrouissage. — Si un barreau a été soumis à un effort P supérieur à sa limite d'élasticité vraie, puis libéré, et si l'effort P a été appliqué suffisamment longtemps pour qu'il ait pu produire tout son effet, il est évident que pour déterminer de nouveaux glissements irréversibles des éléments de volume du barreau ainsi que de nouvelles modifications molécu-

laires de ces éléments de volume on devra appliquer au barreau un effort supérieur à P. P est donc devenu la nouvelle limite d'élasticité du métal.

L'application de l'effort P a eu pour effet de rendre le métal isotrope, en donnant à tous ces éléments de volume une constitution moléculaire identique et correspondant à P.

Il en résulte que les premiers glissements irréversibles devront commencer simultanément dans toute la masse du barreau. et cette sorte de démarrage des éléments de volume du barreau déterminent une diminution brusque dans la variation de sa réluctance. Mais après ce démarrage, les glissements se poursuivront sans secousses et d'une façon continue, car le barreau a alors une structure homogène.

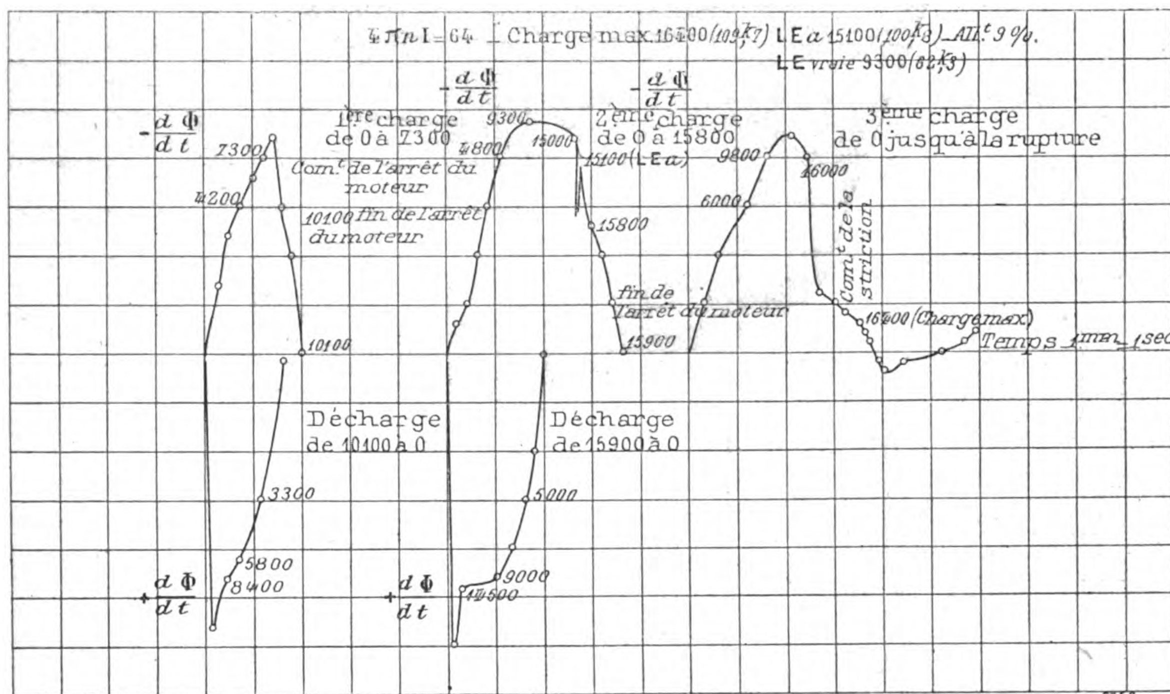


Fig. 5.

Cas d'un barreau trempé. — La limite élastique apparente coïncide toujours avec P, mais la limite vraie, quoique ayant été élevée par la première application de l'effort P, reste néanmoins, notablement inférieure à P. Cet écart entre les deux limites qui est toujours très faible dans le cas d'un barreau d'acier doux recuit et fortement écroui, peut être considérable pour un barreau d'acier dur trempé à l'eau, et il provient du fait que les glissements ainsi que la transformation moléculaire des éléments de volume du barreau ne sont pas instantanés. Cette inertie dans la transformation moléculaire est d'autant plus grande que le métal est plus dur.

Nous revenons plus loin sur cette influence du temps.

Relation entre les glissements irréversibles et la variation de l'effort extérieur. — L'effort extérieur mesure le *frottement interne.* Lorsqu'un glissement important commence, il se produit une diminution brusque du frottement interne, absolument comme après le démarrage d'une voiture la résistance que le frottement oppose au déplacement baisse subitement.

Une diminution brusque dans la variation de la réluctance du barreau correspond donc

à une diminution brusque dans la variation de l'effort de traction, et il en résulte que la variation de la réluctance du barreau suit la même allure que celle de l'effort extérieur : pendant la période purement élastique, l'effort de traction ainsi que la réluctance augmentent rapidement; dès que les glissements commencent, l'effort de traction et la réluctance croissent plus lentement; enfin, lorsque le barreau devient plastique, l'effort de traction de même que la réluctance n'augmentent plus que d'une façon insensible.

Pendant la période d'étranglemenl du barreau, la loi est encore exacte si on considère la reluctance de la région étranglée et l'effort extérieur rapporté à la section minima : la réluctance et l'effort spécifique augmentent simultanément jusqu'à la rupture du barreau.

Changement de la structure moléculaire des éléments de volume du barreau sous l'influence

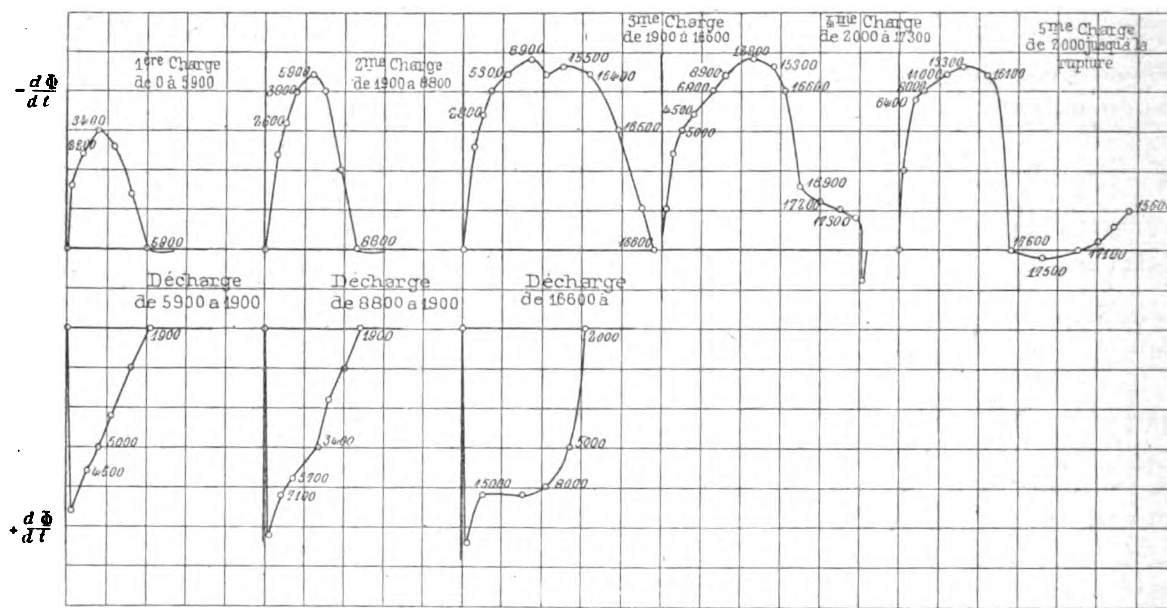


Fig. 6. — Barreau d'acier dur trempé à l'eau vers 900° et revenu vers 550° : — $4\pi nI = 64$ — charge max 17 600 (117,8 kg) — LEa, non observée — LE vraie 8 900 (59 kg), — Allongement 7,50 p. 100.

de la traction. — Il est évident que la structure des éléments de volume du barreau se modifie tout le temps que les réactions élastiques augmentent. Mais à partir de quel moment ces déformations deviennent-elles permanentes ?

Il semble résulter de nos expériences que ces dernières déformations moléculaires sont sensiblement indépendantes de la durée d'application de l'effort et qu'elles cessent presque complètemnt après la libération du barreau, contrairement aux glissements des éléments de volume qui se poursuivent longtemps encore après que le barreau a été déchargé.

Si, en effet, on maintient un barreau sous tension et à une longueur constante, en arrêtant le moteur de la machine à traction, on constate que : 1° les réactions élastiques restent invariables, ce qui semble prouver que la structure moléculaire des éléments de volume du barreau reste constante; 2° la reluctance *diminue* pendant un temps notable, ce qui s'explique parfaitement par les glissements de la matière qui vient boucher les vides produits par la traction et rendre ainsi le métal plus compact.

La limite d'élasticité résulte de l'état d'écrouissage du métal. — Pas plus la limite d'élasticité vraie que la limite apparente ne peuvent caractériser la nuance d'un métal, car elles sont absolument fonction de l'écrouissage du métal. On peut même dire qu'elles n'existent

que parce que le métal est écroui; et un acier sans aucune trace d'écrouissage se présenterait à l'état cristallin et sa limite d'élasticité serait nulle.

L'écrouissage permet d'élever d'une façon considérable la limite d'élasticité ainsi que la cohésion du métal; il dépend non seulement de la valeur de l'effort maximum, mais aussi de la durée de son application ainsi que du temps qui s'est écoulé après l'application de l'effort.

La limite d'élasticité d'un métal est donc une grandeur essentiellement variable pour une nuance déterminée ; elle dépend complètement du traitement subi par le métal.

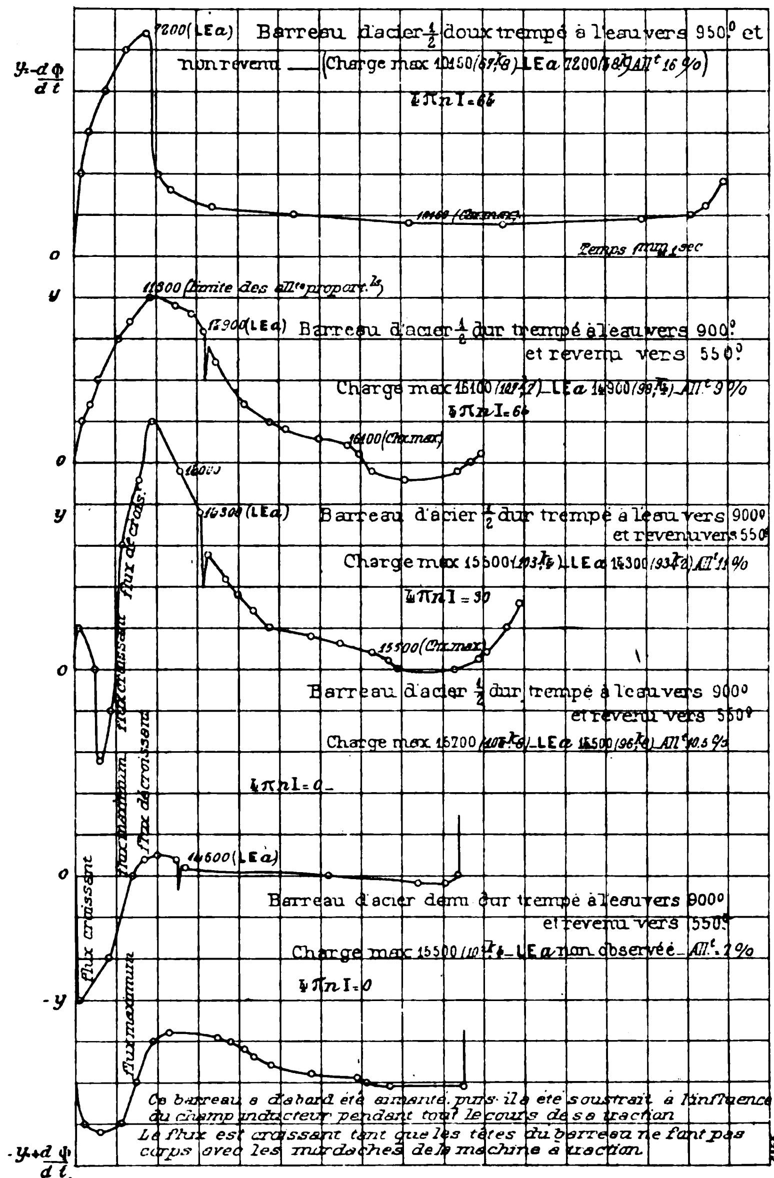


Fig. 7.

VI. — Influence du temps sur les déformations moléculaires

a) Si on arrête la machine à un moment quelconque de la traction d'un barreau, la charge reste stationnaire, mais la réluctance du barreau qui était croissante continue à varier longtemps encore après l'arrêt du moteur : elle passe assez vite par un maximum, et, à ce moment, la déviation galvanométrique s'annule ; elle décroît ensuite pendant un temps très notable, et la déviation galvanométrique reste négative,

b) Un barreau étant soumis à un certain effort, si on le décharge en faisant tourner le moteur en sens inverse, sa réluctance varie de la façon suivante : 1° elle diminue d'une façon plus ou moins régulière, en même temps que l'effort de traction ; 2° le barreau étant complètement détendu, sa reluctance continue à décroître, d'une façon assez régulière et avec une vitesse de plus en plus lente, pendant un temps qui peut être long.

Ces diminutions de la réluctance, que l'on observe à la charge comme à la décharge, lorsque la machine est complètement arrêtée, prouvent que les glissements moléculaires se poursuivent alors que l'effort extérieur reste constant ou même nul. De plus, chacun de ces

glissements amène une répartition plus uniforme des tensions inter-moléculaires, de sorte que l'équilibre moléculaire définitif ne doit être atteint qu'au bout d'un temps très long.

Limite d'élasticité vraie. — Nous sommes maintenant en état de comprendre pourquoi, dans le cas d'un barreau d'acier dur trempé et fortement écroui, il existe un écart qui peut être considérable, entre la limite d'élasticité vraie et la limite apparente.

Pour qu'un barreau, soumis à un effort de traction P, puisse prendre un état d'équilibre et correspondant à P, il faut un temps très long. Si donc, nous déchargeons le barreau aussitôt que la charge P est atteinte, les glissements moléculaires n'ont pas eu le temps de s'achever, et il en résulte que la limite d'élasticité vraie n'a pas eu le temps de s'élever jusqu'à la charge P, par l'application momentanée de cette charge.

Limite apparente. — La limite élastique apparente correspondant à un glissement important, il est évident que, si la traction est reprise immédiatement après la décharge du barreau, on devra trouver pour la nouvelle limite élastique apparente, précisément la charge P. Mais, si après avoir été libéré, le barreau a été laissé au repos pendant un certain temps, ses éléments de volume ont pris leur structure, leur place et leur orientation définitifs ; et il en résulte que l'arrangement moléculaire du barreau est devenu plus stable et, de ce fait, les limites élastiques se trouvent reculées.

Conclusion. — Les limites d'élasticité sont essentiellement fonction de l'écrouissage du métal. Cet écrouissage dépend lui-même de la grandeur et de la durée de l'effort appliqué. ainsi que du temps qui s'est écoulé après cette application.

La limite élastique, que nous déterminons par notre méthode, correspond seulement aux premiers glissements moléculaires ; mais, nous ne saurions affirmer que les éléments de volume n'ont pas déjà subi une modification permanente de structure ; nous ne sommes pas sûr qu'un effort, même très petit, appliqué à un barreau pendant un temps suffisamment long, n'arrive pas à produire une modification permanente de la structure des éléments de volume du barreau, sans qu'il se produise pour cela aucun glissement moléculaire permanent.

Mais, les déformations permanentes totales semblent ne devenir réellement appréciables que lorsque la variation de la réluctance du barreau passe par un maximum ; la charge qui correspond à ce maximum peut donc être prise comme *une valeur pratique* de la limite d'élasticité vraie.

L. Fraichet.
Ancien élève de l'École polytechnique.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Analyse du courant à vide des moteurs synchrones, par **E. Rosenberg**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 111, 12 février 1903.

L'auteur appelle l'attention sur les erreurs qui se glissent dans les relevés que l'on fait habituellement sur les moteurs synchrones, en marche à vide, sous le nom de courbes en V. On fait varier l'excitation du moteur jusqu'à ce que l'on obtienne le courant minimum et on admet alors que ce courant minimum est purement watté ; on déduit de ces courbes des considérations bien connues sur le rendement et le fonctionnement de la machine synchrone.

En réalité, ces résultats ne sont exacts que si les courbes de tension du réseau et du moteur synchrone sont sinusoïdales : si au contraire ces

deux courbes n'ont pas la même forme, il en résulte la circulation d'un courant magnétisant dû à la différence des tensions, lequel courant s'ajoute au courant watté et fait en sorte que le courant total est beaucoup plus grand et le facteur de puissance différent de l'unité.

L'auteur cite l'exemple d'un moteur synchrone triphasé dans lequel le courant minimum mesuré était 7,2 ampères et le courant watté (déduit de la méthode des deux wattmètres par la formule

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3}\, \frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2}$$

où W_1 et W_2 représentent les lectures respectives des deux wattmètres, égal à 2,6 ampères, soit un cos φ de 0,36 (1).

Considérons un réseau à tension sinusoïdale et un moteur synchrone dont la courbe de tension est quelconque et contient des harmoniques supérieurs d'ordres divers. En réglant l'excitation du moteur, on pourra annuler le courant magnétisant fondamental, ce qui arrivera lorsque l'harmonique fondamental de la tension du moteur sera égal à la tension du réseau, et non lorsque les deux tensions efficaces seront les mêmes. D'ailleurs si on désigne par *e* la différence instantanée des deux tensions, par *i* le courant magnétisant correspondant, on a entre eux les relations suivantes :

$$e = -\mathfrak{L}\, \frac{di}{dt}$$

et

$$i = -\frac{1}{\mathfrak{L}} \int e\, dt\,;$$

(1) M. Benischke fait remarquer (voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 193) que la valeur extrêmement basse de ce facteur de puissance est due à ce fait que la formule en tg φ s'applique seulement au cas des courants sinusoïdaux.

Pour obtenir le vrai facteur de puissance d'un moteur triphasé, il faut faire le rapport des watts réellement dépensés aux voltampères apparents. La méthode des deux wattmètres donne par la somme $W_1 + W_2$, pour un sens convenable de disposition des fils fins, la vraie valeur de la puissance effective, quelle que soit la nature des courbes de courant et de tension, pourvu que le système triphasé ne comporte pas de conducteur neutre; mais le quotient $\frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2}$ n'a plus aucun rapport avec l'angle φ, en dehors des courants sinusoïdaux, et d'ailleurs l'expression décalage ou différence de phase cesse également d'avoir aucune signification dans ce cas.

ce qui revient à dire que le courant magnétisan est proportionnel, à chaque instant, à l'aire, comprise entre les deux courbes de tension, que balaye une ordonnée, à condition de partir du point convenable comme limite d'intégration.

Dans la figure 1, l'une des courbes est une

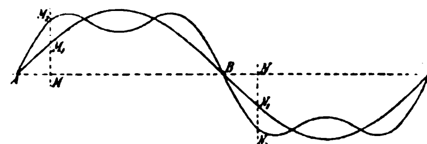


Fig. 1.

sinusoïde, et l'autre une sinusoïde comportant de plus un harmonique 3 passant par zéro en même temps que l'harmonique fondamental; le courant magnétisant est nul en M et en N : dans la demi-période MN, l'ordonnée moyenne des deux courbes est la même et le courant moyen est nul : ce courant est d'ailleurs un harmonique très pur, passant par zéro, un quart de sa période après la tension, c'est-à-dire, comme nous l'avons déjà dit, en M (1).

La valeur efficace du courant magnétisant sera la racine carrée de la somme des carrés des valeurs efficaces des courants des divers ordres : en particulier, si la partie relative aux courants d'ordre supérieur est assez grande, on pourra faire varier dans d'assez larges limites l'excitation, au voisinage du minimum, sans que la valeur efficace résultante soit notoirement modifiée.

Lorsqu'en dehors de la sinusoïde fondamentale, il n'existe qu'un harmonique important, on peut représenter les phénomènes par un diagramme dans l'espace en portant (fig. 2), sur la direction de base O*x* le courant watté OA, sur la direction perpendiculaire dans le plan horizontal le courant magnétisant de premier ordre OB et sur la direction perpendiculaire au plan horizontal et par suite aussi aux deux premières, le courant magnétisant d'ordre supé-

(1) L'auteur insiste alors sur ce fait que la condition pour que le courant magnétisant de premier ordre soit nul est l'égalité, non pas des valeurs efficaces des tensions, mais des valeurs moyennes de ces tensions prises dans une demi-période convenable : la condition s'exprime d'une façon aussi simple, en disant que les deux harmoniques fondamentaux des deux tensions doivent être égaux.

rieur OC; le courant résultant est finalement la diagonale OG dont la valeur est

$$\overline{OG} = \sqrt{\overline{OA}^2 + \overline{OB}^2 + \overline{OC}^2}.$$

Cette représentation ne s'applique plus dès qu'il existe plus d'un harmonique supérieur : les valeurs efficaces des n harmoniques supérieurs se composant par la loi de la racine carrée

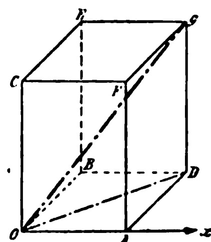


Fig. 2.

de la somme des carrés, il faudrait avoir recours alors à un espace à $n+2$ dimensions.

L'auteur donne alors l'exemple suivant : Un alternateur triphasé à flux alterné, à un trou par pôle et par phase et avec des vides interpolaires égaux à la moitié des pleins, commandait un moteur synchrone à deux trous par pôle et par phase, avec des pleins relativement plus importants, les deux machines étant montées en étoile.

Quand il n'existait aucune connexion entre les points neutres, sous une tension composée de 230 volts, les wattmètres indiquaient 2 200 watts soit un courant watté de 5,53 amp., et l'ampèremètre 15,95 amp. : par suite du montage en étoile, les harmoniques existant pouvaient être seulement d'ordre 5, 7, 11, 13, etc., ne comprenant ni harmoniques pairs, ni harmoniques d'ordre multiple de 3 [1]. La valeur efficace des courants dus aux harmoniques supérieurs était par suite

$$\sqrt{14.95^2 - 5.53^2} = 13.9 \text{ ampères},$$

Si l'on vient à réunir les deux points neutres des machines, dans le circuit comprenant deux branches étoilées des machines, le conducteur extrême et le fil neutre, existe une tension d'ordre 3, égale à la résultante des deux tensions étoilées de même ordre des machines, et l'harmonique 3 se met alors à débiter un courant de même fréquence dans ce circuit, courant qui peut être très important.

Le courant dans le fil neutre est alors exclusivement composé d'harmoniques multiples de

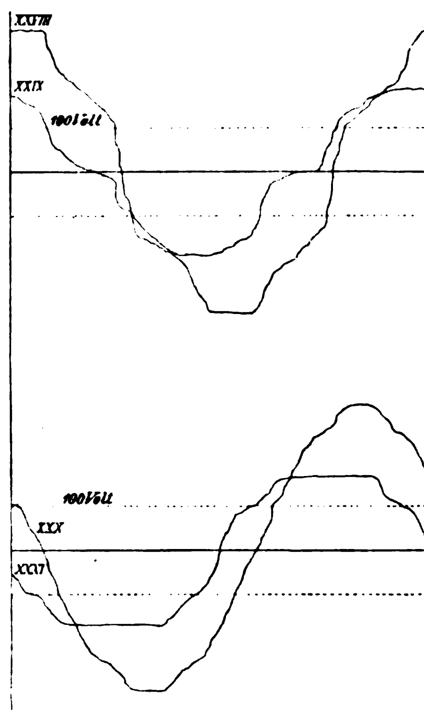


Fig. 3.

3, et égal à trois fois le courant de même ordre dans un des conducteurs extérieurs.

Dans l'exemple de l'auteur, lorsqu'on réunissait les deux points neutres, il passait dans le conducteur neutre un courant de 90 ampères, et dans les conducteurs extrêmes, le courant devenait 35 ampères. Le courant de fréquence 3 introduit dans le fil extrême par la liaison des points neutres est $\frac{90}{3} = 30$ ampères ; la composition avec les 14,95 ampères existant déjà donne

$$\sqrt{30^2 + 14.95^2} = 33.5 \text{ ampères},$$

chiffre qui concorde assez bien avec le résultat de l'observation.

[1] La tension composée d'un alternateur groupé en étoile est la différence de deux tensions étoilées : dans cette différence, les harmoniques d'ordre multiple de 3, étant *égaux* et de *même phase* dans les deux tensions étoilées composantes, qui diffèrent en position d'un nombre entier de périodes de ces harmoniques, se compensent et se détruisent.

L'auteur donne les courbes relevées directement au moyen de l'*indicateur* de Rudolph Franke, sur les machines (fig. 3, 4, 5 et 6), à l'Ecole technique de Hanovre.

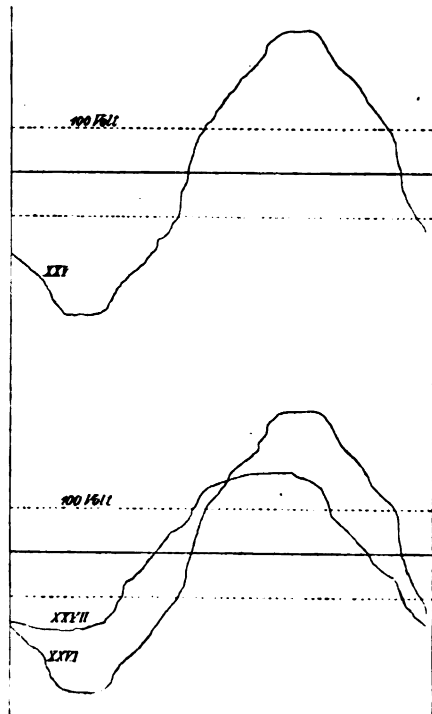


Fig. 4.

Dans la figure 3, les courbes XXIX et XXVIII représentent respectivement la tension étoilée

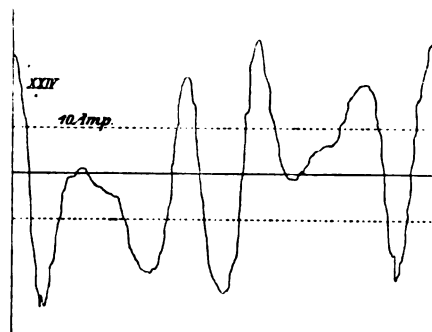


Fig. 5.

et la tension composée de l'alternateur, fonctionnant à vide sous 230 volts, dans un état de grande saturation, 120 000 dans les noyaux polaires en acier coulé, car il est construit pour 190 volts; les courbes XXXI et XXX, les mêmes tensions dans le moteur fonctionnant comme générateur à vide sous la même tension; le large plat de la tension étoilée provient de la grande longueur des pièces polaires.

Dans la figure 4, la courbe XXV représente la tension composée commune dans la marche simultanée à vide, sans conducteur neutre et les courbes XXVII et XXVI les tensions communes étoilée et composée, avec conducteur neutre.

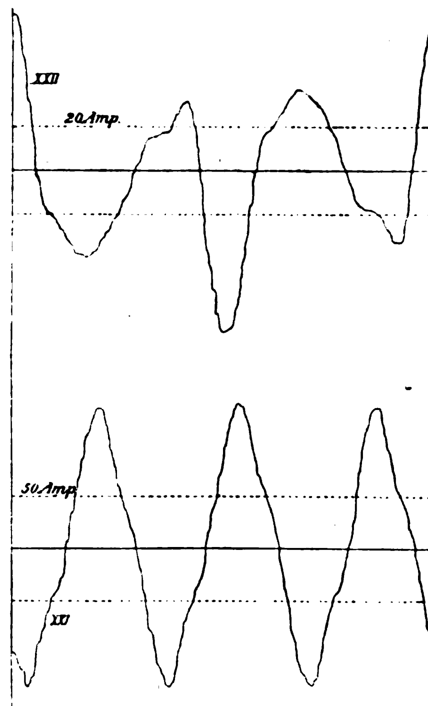


Fig. 6.

La figure 5 donne le courant à vide dans un fil extrême, sans conducteur neutre : on y voit nettement le rôle prédominant de l'harmonique 5 [1]; la figure 6 représente la marche avec conducteur neutre, XXII étant la courbe du courant dans un fil extrême (l'harmonique 3 prédomine, mais on voit des bosses provoquées

(1) Le professeur C. Runge a donné la formule suivante de la courbe de la figure 5 :

$$-9{,}1 \sin x - 0{,}7 \sin 5x - 3{,}4 \sin 7x + 1{,}2 \sin 11x + 1{,}6 \sin 13x + 1{,}7 \cos x + 16{,}3 \cos 5x + 10{,}4 \cos 7x - 2{,}4 \cos 11x - 1{,}5 \cos 13x.$$

On voit d'ailleurs nettement les deux bosses supplémentaires occasionnées par l'harmonique 7, qui est également très important.

par l'harmonique) et XXI le courant dans le fil neutre, harmonique 3 presque pur.

L'auteur fait remarquer qu'en plaçant un petit moteur triphasé à enroulement convenable en série dans le circuit commun aux deux machines, on pourrait obtenir pour ce petit moteur les vitesses n, $3n$ et $5n$ de la façon suivante : la vitesse n lorsque l'excitation est telle que le courant de circulation soit important et que l'harmonique fondamental y prédomine ; la vitesse $5n$, lorsque l'excitation est réglée pour supprimer le courant fondamental et le conducteur neutre coupé, et la vitesse $3n$, dans les mêmes conditions d'excitation, avec conducteur neutre rétabli.

L'ordre de grandeur de ces phénomènes montre combien il est imprudent de se fier aux courbes en volts, pour déterminer les propriétés caractéristiques d'une machine synchrone.

A. M.

TRACTION

Le moteur électrique employé comme moteur de traction, par le Dr **F. Niethammer,** professeur à l'École supérieure technique de Brunn. *Zeitschrift für Elektrotechnick*, de Vienne, t. XXI, nos 24 et 25, p. 353 à 357 et 371 à 374, 14 et 21 juin 1903 (traduction *in extenso*).

Dans l'état actuel de la technique de la traction électrique, on peut distinguer les conditions d'exploitation suivantes que pour simplifier l'aperçu je ne ferai qu'esquisser :

I. Tramways. — La plupart sans voie spéciale (surface lines), voitures isolées de 5 à 30 tonnes (au plus 1 ou 2 remorques légères), 10 à 30 km à l'heure comme vitesse maximum. Accélération et ralentissement ordinairement inférieurs à 0,3 m : sec : sec. Moteurs de 10 à 60 chevaux pour une heure. Rayon d'action 5 à 30 km, beaucoup d'arrêts, peu espacés les uns des autres. Il y a depuis plusieurs années des milliers de telles lignes en fonctionnement, équipées avec les moteurs énumérés ci-dessous.

1. *Moteurs série à courant continu.* — Pour à peu près 90 p. 100 des tramways. Tension de 400 à 750 volts ; pour de grandes distances, transport d'énergie par courants triphasés, 25 périodes 3 000 à 26 000 volts, avec transformation par commutatrices à induit unique (fréquentes en Amérique, puis par exemple à Bruxelles, Glasgow). Les craintes au sujet des commutatrices rotatives, ont disparu depuis que de grandes maisons américaines en ont installé plus de 400 000 kilowatts faisant un service irréprochable. Ordinairement emploi d'accumulateurs (1) pour compenser les variations du courant (centrales pour puissances moyennes). Démarrage au moyen de résistances, et par couplage série-parallèle (2). Peu de pertes au démarrage dans le moteur (pas de pertes dans le fer au repos) ; pertes totales au démarrage également faibles. La vitesse diminue quand la résistance augmente, ce qui atténue les variations du courant : combinateurs de marche simples, avec peu de touches ; sur les pentes tendance à emballement ; couple au démarrage énergique avec faible dépense de courant (le couple (3) croît comme I^x, $x > 1$ jusqu'à 2). Effort de traction non influencé par les variations de tension dans le réseau ; vitesses économiques, maxima et à moitié ; possibilité de régulation de la vitesse par affaiblissement du champ. La plupart du temps freinage à l'air comprimé, et en faisant fonctionner le moteur comme génératrice sur des résistances (frein à courants de Foucault, abandonné). En règle générale pas de récupération, elle est cependant possible en excitant directement au moyen du réseau, particulièrement dans le cas de couplage en série-parallèle. Prise de courant la plupart du temps par simple trôlet (cas le plus fréquent) ou par archet, retour par les rails, rarement troisième rail (seulement pour des intensités > 300 ampères), de même très rarement par contacts glissants doubles (chers, employés toujours à New-York, partiellement à Berlin, Vienne, Buda-Pesth, etc...), très rarement contacts superficiels, par exemple : à Monte-Carlo et Wolverhampton, avec retour par la terre, détériorations électrolytiques.

(1) Un désavantage des accumulateurs est actuellement leur prix de revient élevé et leurs frais d'entretien énormes.

(2) Pour les lignes à faibles pentes, le démarrage par couplage série-parallèle est effectué de la manière suivante. A un moment donné les moteurs couplés en série sont séparés du réseau, puis mis en parallèle sur ce dernier. Le coupleur nécessaire est plus simple qu'un coupleur à courants triphasés pour mise en cascade ou pour variation du nombre de pôles. Aussi bien la mise en série-parallèle que le démarrage sur la caractéristique du moteur, procurent une grande économie d'énergie et de matériel pour résistances.

(3) Intensité du courant.

2. *Moteur à courant continu excité en dérivation.* — Très rarement employé notamment pour la récupération sur les pentes, ainsi que pour l'obtention automatique d'une vitesse uniforme avec toutes résistances même sur les pentes, en général inférieur au moteur série ; aussi à cause de l'enroulement inducteur à fil fin, a un couple inférieur, a plus de tendance à donner des étincelles, donne lieu à plus de variations brusques de l'intensité; dans le fonctionnement en parallèle de deux moteurs, dans le cas de légère dissymétrie exigent des intensités de courant très différentes.

3. *Moteurs d'induction triphasés.* — Très rarement employés par exemple à Lugano, à Evian ; couplage uniquement au moyen de résistances ; tension aux moteurs jusqu'à 750 volts ; tension de transport à volonté en employant des transformateurs statiques ; grandes pertes d'énergie au démarrage dans le moteur [1] et au total, l'échauffement pour des démarrages fréquents est donc plus grand que pour le cas 1. Couple maximum limité et fortement influencé par les variations de tension du réseau ; dépense plus grande de courant que pour 1 ; courants déwattés intenses ce qui exige une grande centrale [2] ; en général plus grande dépense de courant que dans le cas du continu ; pas de régulation de vitesse rationnelle ; vitesse à peu près constante quelle que soit la résistance de roulement, même sur les pentes ; sur ces dernières récupération ; mais impossible d'augmenter la vitesse pour racheter un retard ; freinage indépendant du réseau sur résistances, possible seulement avec emploi d'une excitation à courant continu (solution élégante entraînant par contre des complications, Oerlikon, Schuckert). Combinateurs [3] plus volumineux, c'est-à-dire ayant plus de touches que pour le courant continu, car les variations du courant sont en elles-mêmes plus grandes et on a en outre deux ou trois phases à coupler. Production d'étincelles aux contacts moins forte pour le courant triphasé que pour le courant continu. Prise de courant généralement doubles trôlets (!) ou doubles archets (!). Pour la même tension aux voitures, chute de tension dans les rails de retour plus forte que pour le courant continu (self-induction et augmentation de résistance due à la répartition non uniforme du courant dans le conducteur). Pas d'effets d'électrolyse notable dus au retour par la terre. La centrale doit pouvoir fournir la puissance momentanée maximum, car il ne peut y avoir d'accumulation d'énergie. Comme dans le cas 2, deux moteurs fonctionnant en parallèle sur des roues de diamètres inégaux, prennent des intensités de courant tout à fait différentes (ce qui n'a pas lieu dans le cas 1).

4. *Voitures à accumulateurs.* — Peu employées lourdes, chères, beaucoup de réparations, production de gaz méphitiques ; courte période de travail entre deux charges, bon seulement pour voitures de secours. On peut également rattacher au groupe des tramways, au point de vue électrotechnique, les petites locomotives de mines et de fabriques.

II. Métropolitains, chemins de fer aériens et souterrains (urban service, elevated and under ground). — Voie spéciale, trains de 2 à 8 voitures avec poids total de 30 à 200 tonnes, vitesse maximum jusqu'à 100 km à l'heure, accélération jusqu'à plus de 1 m par seconde par seconde, ralentissement encore un peu plus élevé, faible espacement des stations entre 0,5 et 3 km ; l'exploitation se fait avec accélération rapide, puis vitesse maximum, puis marche sans courant et ensuite freinage ; la puissance des moteurs avec le poids des trains, et les rampes, la vitesse maximum et l'accélération elle est à peu près de 50 à 300 chevaux. Organisation des trains, ou bien avec plusieurs voitures à moteurs et commande unique (multiple unit) ou plus rarement avec locomotives.

1. *Moteurs série à courant continu.* — De beaucoup plus répandus (New-York, Chicago, Central Londres, Paris, etc.), tension jusqu'à 1 000 volts (système à 3 fils jusqu'à 2 000 volts). La plupart du temps des accumulateurs à la station principale et dans les sous-stations, de sorte que la station centrale n'a besoin de n'avoir que la puissance moyenne (1/2 à 1/5 de la puissance maximum) ; souvent transports par courants tripha-

(1) Les pertes dans le fer au démarrage sont aussi grandes ou même plus grandes qu'en pleine marche. Les pertes totales au démarrage, sont ordinairement deux fois plus fortes avec un moteur triphasé qu'avec un moteur à courant continu.

(2) Fréquemment les voltampères sont doubles de ceux exigés dans le cas du courant continu et la centrale doit être établie pour cela.

(3) Dans la voiture il faut également plus de canalisations et plus d'appareils que pour le courant continu.

sés à 25 périodes et tension atteignant 40000 volts et commutatrices à induit unique (sous-stations, un peu coûteuses avec machines rotatives, voir en général I, 1). Prise de courant dans la règle par troisième rail. Pour un service très forcé en Amérique, les moteurs sont refroidis fortement (couvercles perforés, canaux radiaux d'aération) refroidissement par air comprimé [1] souvent proposé. En outre on emploie des isolants résistant bien à la chaleur et laisse chauffer jusqu'à 150°C.

1*a*. Rarement on emploie des moteurs à courant continu à excitation dérivée, voir I, 2.

2. *Moteurs d'induction à courants triphasés.* — Système d'exploitation, seulement proposé (inner circle, Londres; tension aux voitures 700 à 3000 volts ; simples sous-stations de transformateurs ; la centrale doit avoir la puissance maximum nécessaire ; pertes au démarrage pour les moteurs et au total très grandes, de sorte que les limites admissibles pour la température sont plus vite atteintes que dans le cas du courant continu, et le refroidissement artificiel doit être employé plus tôt. Le refroidissement peut se faire également pour les deux systèmes (le collecteur est aussi peu un obstacle que les bagues) ; possibilité d'améliorer les conditions de démarrage, en augmentant la tension au démarrage (transformateurs avec nombre de spires variable ou bien changement du montage en triangle en montage en étoile) ; ce mode de démarrage rend par contre l'installation plus compliquée, exige des moteurs un peu plus chers et un peu moins saturés ; il rend plus mauvais [2] le cos φ maximum, il augmente par contre beaucoup le couple, qui par lui-même est faible. Il est du reste possible de l'employer pour le courant continu et celà d'une façon beaucoup plus simple (démarrage avec excitation excessivement forte, puis affaiblissement du champ, par exemple aussi couplage série-parallèle). Pas de réglage rationnel du nombre de tours, le couplage en cascade ou la variation du nombre de pôles sont compliqués [1] (dans le premier cas il faut permuter deux fois trois liaisons de rotor et trois liaisons de stator, dans le second cas, comme pour la traction, les moteurs avec induit en court-circuit ne peuvent être employés, on doit employer cinq à six bagues et l'on doit permuter trois liaisons de rotor et trois de stator) en outre pour le nombre de tours inférieur, le rendement et le facteur de puissance sont diminués de 8 à 15 p. 100, de sorte que les conditions d'échauffement dans le cas de démarrages fréquents, particulièrement pour le premier moteur dans le couplage en cascade, deviennent très défavorables ; le couple maximum (effort de traction) est pour le nombre de tours réduit de moitié, alors qu'il devrait être aussi grand que possible, diminué à peu près de moitié et la puissance n'est environ que le quart. Les pertes au démarrage ne sont pas réduites de beaucoup par ces couplages, ainsi que le montre la pratique [2] et la récupération par suite du freinage est en pratique très faible (à peu près 10 p. 100 de l'énergie du freinage) en tout cas plus faible que dans le cas du couplage en série-parallèle multiple du courant continu [3].

L'emploi d'une fréquence plus faible dans les stations pour un freinage sursynchrone, rend la centrale et les canalisations beaucoup plus compliquées, cette solution n'est du reste pas suffisante et n'offre pas assez de flexibilité au conducteur. Un freinage indépendant du réseau,

(1) L'air comprimé peut servir en même temps pour les freins. Particulièrement, quand il y a des freinages de longue durée en faisant fonctionner les moteurs comme génératrices, le refroidissement par l'air comprimé est à recommander.

(2) Le rapport de courant de court-circuit à courant de magnétisation est réduit à peu près de moitié ; le rendement diminue aussi.

(3) Dans le cas de courant continu les conditions sont d'autant plus favorables, qu'au repos les pertes dans le fer sont nulles.

(1) Le couplage en cascade est plus simple, quand on emploie le second moteur seulement pour le couplage en tension comme le fait Ganz et Cie, le facteur de puissance et le rendement sont alors améliorés. Je ne puis comprendre que l'on emploie encore aujourd'hui la variation du nombre de pôles pour la traction ; la fabrique de machines d'Oerlikon qui, à ma connaissance, s'est beaucoup occupée de la variation du nombre de pôles, ne l'a jamais proposée pour la traction ; elle prône plutôt l'emploi de moteurs à courant continu et de transformatrices. On peut obtenir une amélioration du couple dans la mise en cascade, en augmentant la tension primaire mais celà complique encore le montage.

(2) Pour des moteurs n'ayant pas de pertes et pas de dispersion, les pertes au démarrage seraient comme dans le cas de la mise en série-parallèle, réduites à peu près de moitié.

(3) Plus de deux moteurs, placés alternativement en série et en parallèle, avec variation corrélative du courant d'excitation.

comme dans le cas du courant continu ne peut être obtenu qu'avec l'emploi d'une excitation à courant continu, (voir I), c'est-à-dire l'emploi de trois archets (!!) ou trôlets [1].

Les avantages reconnus sont : possibilité d'avoir de grandes quantités d'énergie avec une intensité moindre, en employant la haute tension de 3 000 volts et éventuellement de 10 000 volts, ce qui rend la canalisation moins coûteuse ; emploi de sous-stations plus économiques [2], plus faciles à surveiller dans le cas de réseaux très étendus ; au moyen du troisième rail on peut cependant conduire d'une manière irréprochable 1 200 ampères sous 1 000 volts [3] et la construction de transformatrices de courants triphasés en courant continu, pouvant fonctionner sans surveillance n'est plus qu'une question de temps. Ces frais de surveillance ont du reste peu d'influence sur les dépenses totales.

Lors du retour par la terre dans le cas du courant alternatif, on a des troubles dans les télégraphes et les téléphones, et en outre des chutes de tension inductives par suite de la self-induction et de l'augmentation de résistance due à la répartition non uniforme du courant, même en mettant le point neutre à la terre.

Les transformateurs peuvent être placés sur les voitures elles-mêmes, au lieu d'être aménagés dans des sous-stations, on peut alors amener directement de très hautes tensions (Berlin-Zossen) cela augmente il est vrai le poids des voitures mais celà permet l'emploi de tensions variables en utilisant plus ou moins de spires du transformateur.

3. *Courant continu à intensité constante et mise en série d'un grand nombre de trains dans un circuit*. — Ce système proposé par Swinburne [4] est analogue au système de transport d'énergie de Thury ; les pertes au démarrage sont très faibles, le couplage des voitures simple, mais pour un grand trafic et pour les manœuvres de gare, l'installation est difficile à établir. Quoique l'on puisse arriver à une tension totale atteignant 30 000 volts, son emploi est impossible par suite de la difficulté d'isolement des moteurs.

Pratiquement récupération totale lors du freinage, aucune sous-station nécessaire. Retour par la terre impossible. Perte ohmique constante dans la canalisation, même le trafic étant arrêté :

4. *Voitures à accumulateurs*. — Comme I, 4.

III. Service de banlieue. — (Interurban service). Conditions d'exploitation analogues à II, seulement rayon d'action plus étendu et plus grandes distances entre les stations. On peut distinguer.

a. *Service de banlieue léger*, avec trains d'environ 50 tonnes. $V_{max} = 30$ km. Accélération seulement 0,2 à 0,3 m : sec : sec (par exemple Berthoud-Thoune).

b. *Service de banlieue lourd*. — Avec trains de 100 à 300 tonnes. V_{max} = plus de 100 km et 0,6 à 1 m par seconde par seconde pour l'accélération.

Comme moteurs on emploie :

1° *Moteurs série à courant continu*. — Avec transport d'énergie par courants triphasés et transformatrices à courant contitu, ainsi que des accumulateurs, voir II, 1. Très répandu en Amérique (Chicago-Aurora, Portsmouth. Détroit et autres ainsi que Milan-Varèse, Berlin-Grosslichterfelde). Pour des portions de lignes qui ne sont que parfois très chargées, on peut employer des sous-stations transportables.

2° *Moteurs d'induction à courant triphasés*. — Comme II, 2, (Berthoud-Thoune, Engelberg). Sous-stations de transformateurs. La centrale doit pouvoir fournir la puissance maximum momentanée.

3° *Moteurs à collecteur à courant alternatif compensés* (ou à courants triphasés). — Compagnie Westinghouse [1] pour le chemin de fer Washington-Baltimore. Ces moteurs travaillent

[1] Ces conducteurs aériens ne peuvent souvent pas être employés dans les métropolitains par suite de considérations d'établissement. On s'imagine également la complication des aiguillages.

[2] Pour la même tension aux voitures, dans le cas de courants triphasés les sous-stations doivent être plus rapprochées, car la chute de tension est plus grande.

[3] Il faut aussi remarquer qu'une canalisation de contact à haute teusion pour la même intensité revient plus cher qu'une canalisation à basse tension, surtout quand il faut trois fils.

[4] *Electrician*, 1903, ainsi que *Inst. Elec. Eng.* Londres, juin 1902. Pas possible d'employer des accumulateurs ; deux trôlets ; couple moteur constant (variation par affaiblissement du champ et couplage en série parallèle).

[1] Lammg. *Electrical. World*, 1902.

avec des champs tournants et non avec des champs pulsatoires; réglage rationnel du nombre de tours, sans résistances, du repos au sursynchronisme, (Gœrges, Winter-Eichberg [1] Latour, Heyland) par variation de la tension et de la phase au rotor (seulement de faibles pertes dans un transformateur-régulateur); pour toutes les charges et les vitesses approximativement on a $\cos \varphi = 1$; le collecteur a moins de tendance aux étincelles que dans le cas du courant continu, car avec une disposition convenable, il ne commute pas, et il n'y a pas de courant de court-circuit variable sous les balais. Il sert seulement de transformateur de fréquence (mécaniquement et électriquement à peu près équivalent à une bague). Moment de traction élevé à volonté. Pertes totales au démarrage faibles, car on démarre sans résistances, seulement par variation de tension. Pertes au démarrage dans le moteur, comme pour le cas de moteur d'induction, beaucoup plus élevées que pour le moteur à courant continu et par conséquent échauffement plus grand (pertes dans le fer au repos et à vitesse réduite plus grandes que dans le cas du courant continu ; il est vrai que l'on peut diminuer ces pertes en couplant au démarrage sur une tension plus élevée). Pour les moteurs monophasés, l'emplacement et le poids sont plus grands que pour le courant continu. Récupération totale.

Possibilité de freinage en génératrice Appareils de couplage simples. Au point de vue de la tension maximum aux voitures on doit distinguer :

a. *Le moteur série* dont le collecteur est directement en relation avec le circuit primaire de sorte que la plus haute tension admissible est 1 500 à 2 000 volts.

b. *Le moteur à répulsion* (Répulsions motor) dont le collecteur est seulement en relation inductive avec le réseau primaire. On peut alors comme avec le moteur d'induction employer des tensions atteignant 10 000 volts.

Les conducteurs d'amenée du courant, rail ou trôlet, pour le cas d'emploi du courant monophasé pour lequel le moteur à collecteur est bien approprié, sont beaucoup plus simples que dans le cas d'emploi du moteur d'induction. La centrale doit être diphasée, et chaque phase desservira une partie spéciale de la ligne. Elle doit pouvoir fournir la puissance momentanée maximum. La centrale est cependant beaucoup plus petite que pour des moteurs d'induction, car $\cos \varphi$ et le rendement de l'ensemble sont plus favorables.

Avec les moteurs à courant alternatif à collecteurs, on peut marcher dans les parties desservies par du courant continu. L'emploi d'une fréquence inférieure à 25 n'est pas à recommander, car avec une valeur plus réduite, les machines et les transformateurs deviennent trop chers.

4. *Courant continu à intensité constante*, comme II, 3.

5. *Moteur monophasé pour haute tension couplé avec dynamo à courant continu sur la locomotive* [1]. — Démarrage des moteurs série à courant continu placés sur les voitures par le système Léonard, c'est-à-dire avec augmentation de la tension de la génératrice de zéro au maximum (fabrique de machines d'Œrlikon) Tension aux voitures aussi élevée qu'on le veut. Prise du courant simple. Faible perte totale au démarrage ainsi que dans les moteurs. Réglage du nombre de tours le plus rationnel. Récupération.

Désavantages : Forte augmentation du poids du train, grands frais d'établissement ; la centrale doit avoir la puissance maximum, car on ne peut employer d'accumulateurs ; pertes continuelles dans la transformatrice installée sur la locomotive même au repos.

6. *Système monophasé de l'américain Arnold* [2] dans lequel le stator et le rotor du moteur d'induction monophasé sont reliés chacun à un compresseur d'air monté sur la voiture, Tension choisie à volonté, avec prise simple du courant.

Les conditions de démarrage et de réglage du nombre de tours sont bonnes, car les machines à air comprimé fonctionnent alternativement en absorbant de l'énergie et en en restituant. Par contre, l'équipement des voitures est cher et un peu compliqué, car il est nécessaire d'avoir deux formes d'énergie.

IV. Chemins de fer de montagne. — Trains avec peu de voitures, à faible vitesse et faible accélération, rampes très fortes, la plupart du temps emploi de crémaillère, moteurs de 30 à

[1] *Zeitschrift fur Electrotechnik*, 1903, page 213.

[1] Voir aussi Zander. *Dingler's Journal*, 1900.

[2] *Electrical World*, 1902.

200 chevaux, conditions de démarrage peu importantes; seulement, des efforts de traction et de freinage élevés et continus.

1. *Courant continu.* — (Les Avants, Suisse; Barmen ; très souvent employés aux Etats-Unis). Soit avec :

a.) *Moteurs en série,* ou bien avec

b.) *Moteurs en dérivation*, voir I, 1 et 2.

Tension de 750 volts suffisante dans la plupart des cas.

Freinage à la descente très important, aussi bien en fonctionnant sur le réseau avec lequel, pour des départs peu fréquents, on met en parallèle une résistance de charge, que sur des résistances installées dans la voiture. Pour les moteurs série, il faut éviter un emballement lors de la descente, le fonctionnement sur le réseau est alors également un peu plus difficile qu'avec des moteurs en dérivation. Le moteur en dérivation maintient automatiquement la vitesse constante, mais, par contre, n'a pas un couple de démarrage aussi avantageux que le moteur série. La mise en série-parallèle n'est pas à recommander, car alors une roue peut patiner et, dans ce cas, l'autre moteur reçoit la tension totale.

2. *Moteurs d'induction à courants triphasés.* — (Jungfrau, Görnergratz, Engelberg), voir I, 3; les désavantages du démarrage deviennent secondaires, mais les canalisations et les combinateurs sont plus importants, pour la même tension, que dans le cas du courant continu. Vitesse à peu près constante, même à la descente, avec récupération dans le réseau, même sans l'intervention du conducteur. Le freinage sur résistances n'est possible qu'avec des complications, voir I, 3. De tels chemins de fer peuvent être desservis simplement par des réseaux à haute tension, au moyen de transformateurs statiques.

V. Chemins de fer proprement dits (à longues distances). — On tend à obtenir de grandes vitesses, jusqu'à 200 km avec des trains de poids relativement modérés, et à employer également des trains lourds avec des vitesses plus réduites; une grande accélération n'est pas absolument nécessaire, à peu près 0,2 à 0,3 m par seconde par seconde. Peu d'arrêts; il est bon d'avoir plusieurs voitures motrices. Moteurs de 50 à 500 chevaux.

1. *Moteurs série à courant continu.* — (éventuellement aussi moteurs en dérivation) avec transport d'énergie par courants triphasés à haute tension et transformatrices rotatives comme III, 1, voir le projet de Thormann, pour le chemin de fer nord-est Suisse, paru dans la *schweizerische Bauzeitung* de 1902. Il ressort de cette étude que les dépenses d'installation pour le conducteur de contact, les sous-stations et l'équipement des voitures ([1]) sont bien de 25 p. 100 inférieures dans le cas d'emploi de courants triphasés que dans le cas de courant continu, mais que dans le cas d'emploi unique de courants triphasés la centrale ([2]) revient à peu près au double, de sorte que l'exploitation par courants triphasés exige plus de dépense d'intérêt pour la production de l'énergie et en général plus de frais généraux d'exploitation. Naturellement ces résultats dépendent beaucoup des circonstances particulières, ainsi que le rendement d'ensemble qui dans le cas de trafic très serré est à l'avantage du courant continu ([3]), tandis que dans le cas de réseaux étendus est à l'avantage de l'emploi unique des courants triphasés.

Les accumulateurs d'un prix élevé peuvent être remplacés par des machines tampons plus économiques, qui sont placées directement sur les transformatrices à grande vitesse. Les transformatrices deviennent de moins en moins chères par suite de l'augmentation du nombre de tours, en outre on aura prochainement des transformatrices de courants triphasés en courant continu, sans aucune partie en mouvement (appareils à mercure), éventuellement aussi des machines verticales, dans lesquelles les balais seuls tourneront. Un projet pour courant continu devient également plus favorable, quand on admet pour de grands moteurs une tension de 2 000 à 3 000 volts éventuellement avec emploi

---

([1]) Thormann, admet que l'équipement des voitures pour les courants triphasés n'est pas plus cher que pour le courant-continu, en réalité les résultats sont encore plus favorables pour le courant continu.

([2]) La maison de construction a pour l'exploitation uniquement avec courants alternatifs, plus de machines à fournir, et surtout des machines plus uniformes que dans le cas de triphasé continu, ceci contrairement au reproche que l'on a fait aux maisons de construction américaines de soutenir le système triphasé-continu, afin d'avoir plus de machines à fournir.

([3]) E.-F. Berg. *El. World*, 1901.

de deux collecteurs. Voir aussi le chemin de fer Milan-Varèse.

2. *Moteurs d'induction triphasés* (voir III, 2) (chemin de fer de la Valteline, voie d'essai de Berlin-Zossen). — Dans ce cas, les pertes au démarrage, défavorables, ne jouent plus un grand rôle, mais bien les prises de courant et appareils de commutation qui sont plus compliqués que dans le cas du courant monophasé, respectivement du courant continu et rachètent et au delà les économies faites sur les canalisations. Avec les courants triphasés, un emmagasinement d'énergie est difficile, on devrait avoir des installations particulières pour actionner des machines-tampon, et celles-ci sont plus difficiles à régler que dans le cas de courant continu. Pour des longues lignes la possibilité d'emploi de moteurs d'induction, fonctionnant directement à la tension de 10 000 volts peut faire passer par-dessus tous les autres désavantages, mais les moteurs à répulsion à courant monophasé offrent les mêmes avantages.

3. *Moteurs monophasés à collecteur* (voir III, 3). — La centrale doit pouvoir fournir la puissance momentanée maximum.

4. *Moteur générateur sur le train* (voir III, 4). — Système souvent plus cher au point de vue de l'installation et de l'exploitation et ayant un plus mauvais rendement général que les courants triphasés uniques (projet de Thormann).

5. *Voitures à accumulateurs* (voir I, 5).

Il résulte immédiatement de cet aperçu que le courant continu, respectivement le système continu-triphasé, avec transformatrices à induit unique, présente des avantages indéniables pour les tramways, les métropolitains et les chemins de fer de banlieue à grand trafic et qu'il ne doit pas être repoussé *a priori* pour les lignes à grande distance.

La production d'étincelles au collecteur peut être considérée actuellement comme complètement annulée ; de sorte que la différence entre les bagues et les collecteurs n'est pas très grande. Pour des lignes très longues et particulièrement pour les chemins de fer de montagne, ainsi que pour certains chemins de fer de banlieue le moteur d'induction triphasé est à recommander à certains points de vue [1] mais très probablement dans la plupart des cas le moteur monophasé à répulsion aura la préférence. Le moteur monophasé à collecteur a il est vrai des dimensions un peu plus considérables que le moteur d'induction ou le moteur à courant continu, mais il ne s'agit que de quelques p. 100. Le système très élégant de transformatrice avec couplage Léonard ne pourra guère lutter contre le moteur monophasé à collecteur, si facile à régler. Le système à courant continu à intensité constante à mon avis, est tout à fait justifié comme système de transport, vu sa simplicité, mais il n'est pas à recommander comme système de répartition. On préférera au système mixte Arnold, monophasé-air comprimé, tout système purement électrique qui sera à peu près équivalent.

Au point de vue de la comparaison des moteurs d'induction triphasés et des moteurs série à courant continu, j'ai encore quelques observations à ajouter et à faire remarquer expressément que dans bien des cas, ce n'est pas seulement la « complication apparente des prises du courant » qui s'oppose à l'application du système triphasé pur, mais encore bien plutôt les énormes pertes au démarrage, qui ne peuvent être évitées sans l'emploi de montages très compliqués; la grande élévation de température qui en résulte ; la difficulté d'un réglage rationnel de la vitesse; l'impossibilité d'une accumulation d'énergie, de sorte que la centrale doit pouvoir fournir la puissance maximum momentanée, ce qui, vu la sensibilité des moteurs d'induction pour les variations de tension, et vu la réduction de la puissance des génératrices par suite des courants déwattés conduit à l'installation de grandes stations centrales et à des frais d'exploitation élevés.

Les frais d'exploitation des stations transformatrices, de triphasés en continu, sont de ce fait souvent compensés au profit du courant continu.

Pour les tramways, les métropolitains, les lignes de banlieue, les dépenses de courant sont presque régulièrement à l'avantage du courant continu, particulièrement pour le cas de réseaux peu étendus où aucune transformation du courant n'est nécessaire. Voici encore d'autres points de vue. Le rendement des moteurs tri-

[1] Brown et Boveri emploient pour cela, avec raison, au chemin de fer Berthoud Thoune, un réglage mécanique de la vitesse, qui consiste dans la variation du rapport de transmission des roues dentées.

phasés à bagues et balais en charbon, ainsi qu'avec enroulement sur gabarit, qui sont indispensables pour la traction, est à peu près généralement déjà de 1 p. 100 inférieur à celui des moteurs à courant continu. Les intensités accidentelles maxima du courant, sont pour le courant continu moindres, notamment les variations d'intensité sont en général moindres pour le moteur-série à courant continu, l'afflux du courant au premier moment du démarrage dans le cas du couplage série-parallèle est moindre qu'avec du courant triphasé, même avec couplage en cascade. La valeur maximum des kilowatts absorbés ne doit pas être très différente pour les deux sortes de courant. Si dans la deuxième partie de la période de démarrage, on fait fonctionner le moteur-série, dans la partie de sa caractéristique, ce qui n'est pas possible avec les moteurs à courants triphasés, mais est très avantageux au point de vue économique, l'accélération au commencement du démarrage, doit, il est vrai, être un peu augmentée pour le continu, ou bien l'on fait augmenter peu à peu l'accélération ce qui est facile pour le personnel technique; on peut aussi pour une même accélération, accélérer un peu plus longtemps sur la caractéristique comme moteur, ce qui cependant conduit ensuite à un peu plus de travail de freinage. Ce sont cependant d'après moi des différences tout à fait insensibles, qui ne sont en aucun cas déterminantes.

On peut cependant si on considère ce fait comme suffisamment important, obtenir une accélération tout à fait uniforme avec le moteur série, sans utiliser la caractéristique du moteur, ce qui sera toujours fait en pratique, de temps à autre pour rattraper un retard.

Le ratrapage des retards est difficile ou même impossible à obtenir au moyen du courant triphasé et celà est indubitablement un désavantage de ce courant que ne partage même pas la locomotive à vapeur [1].

Le couple momentané maximum, qui n'est limité que par les pertes propres du moteur et le danger de le brûler, qui est peut-être plus grand que pour les courants triphasés, rend le moteur série particulièrement apte à de grandes accélérations. Pendant le temps que le moteur-série marche sur sa caractéristique comme moteur, il accélère il est vrai un peu plus longtemps que le moteur à courants triphasés, mais quand il s'agit d'accélération rapide, on marche jusqu'à la fin avec une accélération constante même avec une accélération croissant peu à peu, alors le moteur-série accélère aussi rapidement pour la même intensité de courant et même plus rapidement que le moteur à courants triphasés. La récupération a pour les courants triphasés, particulièrement dans le cas d'un faible trafic, beaucoup moins d'importance que pour le courant continu, car l'énergie ne peut être recueillie dans des accumulateurs et par conséquent doit souvent être absorbée dans des résistances à la centrale. Actuellement on emploie pour le courant continu des couplages en série-parallèle multiples qui permettent de récupérer presque jusqu'au moment de l'arrêt.

La place occupée par un moteur de traction est donnée pratiquement par un parallélipipède (longueur × largeur × hauteur) de sorte qu'avec la forme ronde du moteur à courants triphasés on utilise mal l'emplacement.

Le collecteur est il est vrai au désavantage du moteur à courant continu, au point de vue mécanique, mais à 500 volts et plus, il n'est pas beaucoup plus grand que des bagues de frottement; particulièrement pour les moteurs série dont la tension de réaction reste à peu près constante quelle que soit la charge, et dont les ampères-tours inducteurs croissent en même temps que ceux de l'induit, on peut facilement obtenir un fonctionnement sans étincelle. En règle générale le moteur à courants triphasés doit être un peu plus grand, entre autres, parce que dans les rampes sa vitesse ne diminue pas, et il absorbe alors plus de kilowatts; le moteur à courant continu peut facilement rattraper un retard dans les pentes. Les saturations élevées que l'on peut admettre pour le champ d'un moteur à courant continu et la possibilité de n'employer qu'une bobine d'excitation par pôle, au lieu d'être obligé de répartir l'enroulement permettent également une réduction de l'encombrement.

Les moteurs à courants triphasés doivent avoir des induits de plus grand diamètre que ceux des moteurs à courant continu, mais juste-

(1) Voir NIETHAMMER. *Points de vue modernes pour l'étude des machines électriques* (paragraphe relatif aux démarrages), ouvrage dans lequel d'autres questions sont encore traitées.

ment dans cette direction on est gêné par la place, dans le cas où l'on n'adopte pas la solution élégante de Brown et Boveri qui installent le moteur au-dessus du châssis, ce qui du reste n'est pas toujours possible. L'augmentation du diamètre des moteurs triphasés, conduit à une plus grande force pour l'accélération et le ralentissement. Pour des démarrages fréquents le moteur triphasé doit avoir une surface de rayonnement plus grande. Un désavantage qui ne peut être nié est que le moteur triphasé exige un entrefer beaucoup moindre que le moteur continu. Si on utilise complètement les avantages des systèmes alternatifs et triphasés en employant une tension élevée aux voitures, les moteurs deviennent beaucoup plus grands et beaucoup plus coûteux que pour la basse tension (1) ; à la longue des tensions aux moteurs atteignant 10 000 volts ne doivent pas donner de sécurité de fonctionnement. Comme en général on adopte pour le courant continu des tensions moindres, les sous-stations dans ce cas doivent être plus rapprochées (2).

La faculté de surcharges momentanées est plus grande pour les transformatrices tournantes que pour les transformatrices statiques, car les transformatrices ont une moindre tension de réaction.

Annexe. — Au sujet du livre remarquable récemment paru du Dr Reichel sur « l'emploi des courants triphasés pour la traction des chemins de fer électriques » j'ajouterai les considérations suivantes qui concordent complètement avec mes vues.

	COMBINATEUR	RÉSISTANCES	PRISES de courant	NOMBRE de canalisations sur la voiture
Courant continu	2 pièces pr 28 contacts	1	1 pôle	17
Courants triphasés	2 pièces pr 55 contacts	2, chacune en 3 parties	2 pôles	42

(1) L'échauffement admissible doit être également réduit dans le cas de haute tension (+ 150° est complètement inadmissible pour des tensions de 3 000 volts ou même 10 000 volts).

(2) Pour la même tension aux voitures, le contraire a lieu.

En outre les résistances sont couplées beaucoup plus longtemps (1).

En employant des rainures fermées, on rend plus difficiles les travaux de réparation des moteurs. Le moteur à courant continu permet des saturations plus élevées et des rapports de transmission pour les engrenages plus favorables. A chaque vitesse de marche correspond une fréquence favorable, ce qui pour des lignes avec des trains de vitesses très différentes (20 à 30 km : h et 150 à 200 km : h) est très incommode.

Pour la même perte dans la canalisation, on doit choisir pour le courant triphasé à 50 périodes, une tension environ 1,7 fois plus forte que pour le courant continu (si on admet que la tension maximum pour les grandes voitures motrices est en continu de 4 000 volts, ceci correspondrait à environ 8 000 volts en courants triphasés, c'est-à-dire à peu près à la limite admissible). Les génératrices triphasées sont par suite de la tension inductive, dans des conditions beaucoup moins favorables que les machines à courant continu et par conséquent dans le cas de chemins de fer peuvent moins supporter de surcharge (2).

L'installation des canalisations et des tableaux revient à un prix plus élevé pour les courants triphasés que pour le courant continu.

Vu l'importance de la question des chemins de fer électriques, je donne ci-dessous l'opinion de divers auteurs sur la question de comparaison des courants triphasés et du courant continu.

A). M. Reichel (ouvrage cité ci-dessus) base son opinion sur les essais entrepris par la maison Siemens et Halske, ainsi que sur le calcul détaillé de divers projets (d'abord pour tramways et métropolitains, mais cependant ayant aussi une importance générale).

Il est incontestable que l'installation des véhicules (moteurs, coupleurs, etc.) n'est pas aussi simple et n'offre pas autant de sécurité dans le service, pour les courants triphasés que pour le courant continu (p. 3).

Le moteur à courant continu est plus apte

(1) Reichel montre, au moyen de schémas, la plus grande complication de l'équipement électrique des voitures dans le cas de courants triphasés.

(2) Le rapport est plus favorable dans le cas de stations triphasées desservant des convertisseurs ou des moteurs triphasés.

pour le cas d'un service avec beaucoup de démarrages ; il donne une charge beaucoup plus uniforme de l'installation et travaille pendant un temps moins long, avec résistances intercalées, il est donc plus économique (p. 13).

L'équipement pour courant continu (moteurs, etc.) est plus simple, plus léger et meilleur marché ; en outre, dans le cas des courants triphasés on a le désavantage d'avoir des canalisations plus coûteuses (p. 15).

Au point de vue des pertes de tension une installation pour courants triphasés se comporte moins favorablement qu'une installation pour courant continu. Il en est de même au point de vue des pertes d'énergie (p. 19).

L'usine génératrice pour courants triphasés est plus coûteuse ; on ne peut dans le cas de courants triphasés employer de batterie tampon, ce qui est cependant avantageux (p. 19).

Pour le chemin de fer aérien de Berlin, vu le manque de place, sur la voie et sur les voitures, on ne peut employer que du courant continu, et également parce que c'est seulement dans le cas du courant continu que l'on peut adopter d'une manière simple une commande unique du train (multiples units).

Les dépenses d'établissement seraient plus élevées pour l'emploi des courants triphasés, sans que ce surcroît de dépense puisse être compensé par des économies d'exploitation (p. 25 et 26). En établissant des calculs d'exploitation pour la ligne Berthoud-Thoune, pour le cas d'emploi du courant continu, on arrive dans toutes les circonstances à avoir des frais d'exploitation moindres qu'avec les courants triphasés; les dépenses d'installation sont à peu près les mêmes et avec le courant continu on arrive même à avoir une plus grande réserve (p. 26). On arrive au même résultat pour le cas du chemin de fer de la Valteline (Lecco-Colico-Chiavenna) qui avec du courant continu serait à peine plus coûteux comme premier établissement et serait plutôt plus économique comme exploitation (p. 26).

En calculant un chemin de fer à grande vitesse et à grand parcours (Berlin-Hambourg) on trouve par contre que même en employant du courant continu à 2500 volts, on ne peut lutter même de loin avec les courants triphasés à 10 000 volts [1].

Le couplage en cascade, échauffe plus les moteurs, la puissance maximum est réduite de 1/4. Cos φ et le rendement diminuent de $0,85 \times 0,85$ à $0,75 \times 0,60$. Le montage est naturellement compliqué. La mise en cascade a encore le désavantage d'une inégalité d'échauffement des moteurs, car dans le moteur I on a presque deux fois plus de pertes que dans le moteur II (p. 9 et 11).

L'alimentation de parties déterminées de voies, avec une fréquence réduite, d'après le système Kubler-Schmidt, exige des canalisations spéciales des machines spéciales à l'usine génératrice, et on doit prendre des précautions spéciales, pour le passage d'une fréquence à l'autre; elle ne se prête donc pas au service des grandes lignes, car en outre on ne sait jamais d'avance où il sera nécessaire d'installer un signal de ralentissement (p. 42).

Les pertes au démarrage dans un moteur de traction, pour les mêmes conditions d'exploitation (tramway) avec 650 respectivement 1 150 volts, sont :

Pour le courant continu . .	4 100 watts en palier.
id.	10 000 watts en rampe.
Pour les courants triphasés.	13 500 watts en palier.
id.	14 500 watts en rampe.

Dans ce calcul, on a respectivement admis pour le moteur à courant continu un rendement un peu moindre, ce qui n'est pas du tout forcé. La surface de refroidissement est pour le courant continu de 217 dcm^2 (poids du moteur seulement 1 050 kg) pour les courants triphasés 238 dcm^2 (poids du moteur 1 250 kg).

Au démarrage, le moteur continu exige 68 chevaux et le moteur à courants triphasés 108 chevaux; malgré son faible poids le moteur à courant continu peut au besoin donner un couple de démarrage à peu près double, le moteur à courants triphasés est tout près de la valeur pour laquelle il décroche. En outre on peut diminuer le prix de revient du moteur à courant continu en réduisant l'entrefer qui est de 6,3 mm à environ 2 mm (pour le courant triphasé l'entrefer est de 1,5 mm). Les conditions pour cette ligne, avec courants triphasés à

[1] Il n'est malheureusement pas donné de détails sur les frais d'exploitation; je doute qu'ils soient si au désavantage du système triphasé-continu. Il est clair que les frais d'installation sont plus élevés.

1 150 volts ou du courant continu à 650 volts sont indiquées dans le tableau suivant :

	COURANT continu	COURANTS triphasés
Voiture motrice y compris l'équipement électrique. Poids.	9,5 t	10,5 t
Rapport de transmission.	1 : 5,1	1 : 5,8
Dépense totale en watts par voyage :		
Rampe.	1 972	2 267 w
Paliers.	557	726
Pertes dans le moteur par voyage :		
Rampe.	320	373 w.-h.
Palier.	104	141
Conditions d'emploi.	Voie normale et voie de 1 m	Seulement pour voie normale.
Durée de l'intercalation des résistances :		
Rampe.	25 sec	33,4 sec.
Palier.	8,6	13,0

B). Ernest J. Berg (*Street Railway Journal* 1901) donne son opinion en prenant pour base les nombreux essais faits par la General Electric C° (Scott ingénieur en chef de la Compagnie Westinghouse confirme les données de Berg).

Etude d'une ligne métropolitaine, respectivement de banlieue à deux voies avec 27 stations distantes de 800 m en moyenne ; trains de 180 tonnes; accélérations maximum de 0,6 m par seconde par seconde (0,4 m en moyenne) ; vitesse maximum de 43 km à l'heure (moteurs d'induction avec enroulement sur gabarit).

Pertes au démarrage du moteur d'induction triphasé, environ quatre fois plus fortes que pour le courant continu.

Plus grand échauffement des moteurs ou moteurs plus grands pour les courants triphasés.

Equipement des voitures 50 p. 100 plus coûteux pour les courants triphasés (en Amérique).

Dans le cas le plus favorable le système à courants triphasés le meilleur, absorbe 26 p. 100 plus d'énergie (kilowatts-heure) et 2,2 fois plus de kilovolts-ampères que le système à courant continu. Lors de l'emploi du couplage en cascade on absorbe 26 p. 100 d'énergie de moins, mais 10 p. 100 de kilovolts-ampères en plus que lors de l'emploi de résistances de démarrage.

Les prix comparatifs sont :

	COURANT continu. (Transport par triphase.)	COURANTS triphasés. (Couplage par résistance.)	COURANTS triphasés. (Couplage en cascade.)
Usine génératrice.	646 000 $	834 000 $	785 000 $
Equipement électrique des voitures	531 000	628 000	628 000
Sous-stations.	312 000	50 500	57 500
Coût total de l'installation.	1 857 000	1 856 000	2 008 000
Kilowatts absorbés en moyenne.	3 650	5 600	4 170
Pertes en kilowatts	600	440	380

Il conclut que la presque unanimité des ingénieurs américains (1) est en faveur des transformatrices rotatives, et que cette opinion est fondée tant sur les résultats d'exploitation que sur le prix de l'installation. Il y a sans aucun doute un champ ouvert aux moteurs à courant alternatif, mais ils sont uniquement réservés aux chemins de fer à grande distance avec peu d'arrêts et aux chemins de fer de montagne.

Dans les *Transactions of American Institut of electrical Engineers* de 1902, on trouve d'autres études américaines sur les chemins de fer à courant continu et à courants triphasés, par exemple celle de Mailloux qui dit qu'après avoir visité les principaux chemins de fer européens à courants triphasés, il est revenu de l'enthousiasme qu'il avait auparavant pour ce système. Il mentionne notamment la faible accélération de 0,335 m : sec : sec tandis qu'en Amérique on est parti de 0,45 m pour arriver à plus de 1 m ; en outre, il mentionne la valeur élevée du couple maximum de traction du moteur série (10 × le couple normal tandis que pour les courants triphasés il n'est que le double ou le triple). Steinmetz qui certainement connaît à fond le moteur triphasé, le juge également le plus mauvais moteur de traction. Désavantages : deux ou plusieurs prises du courant ; vitesse constante même dans les rampes qui en Amérique atteignent et dépassent

(1) On m'a dit presque unanimement en Amérique que le moteur d'induction est le plus mauvais moteur de traction que l'on puisse imaginer, et que le moteur série par contre est le meilleur. Sous le nom de moteur alternatif pour traction les Américains désignent généralement le moteur monophasé à collecteur.

souvent 8 p. 100, et sur lesquelles une voiture motrice doit souvent en remorquer une autre ce qui pour les courants triphasés, donne une charge extraordinaire ; la chute de tension n'a aucune influence sur l'effort de traction du courant continu tandis que pour les courants triphasés elle agit proportionnellement au carré, de sorte que les conducteurs d'amenées doivent être calculés pour les conditions les plus défavorables [1] (non pour les conditions moyennes). En Amérique les grandes lignes traversent également les villes il y a donc beaucoup de stations d'arrêt et on doit marcher à différentes vitesses, de sorte que le moteur d'induction n'est pas approprié. D'après Steinmetz [1] l'emploi du moteur d'induction ne doit être envisagé que pour le cas ou la tension dépasse 3 000 volts et la vitesse atteint 160 à 240 km avec peu d'arrêts.

B) Thormann (*Schweizerische. Bauzeitung* 1902. Projet pour le nord-est suisse, trains de 500 chevaux) donne le tableau suivant :

	COURANT CONTINU transport par courants triphasés	COURANTS triphasés	MONTAGE LÉONARD (Courant alternatif, courant continu.)
Energie à la voiture	7 200	7 200	8 500 chevaux en moyenne
» au point d'alimentation	16 400	9 600	14 000 » »
» » »	67 500	64 000	84 000 » au maximum
Rendement total	0,44	0,70	0,56 en moyenne
Frais d'établissement	66	46	53 1/2 millions de francs.
Dépenses annuelles	9,4	10,6	13,1 millions de francs.

D) Comparaison des deux chemins de fer de la haute Italie par C. Wilson, qui est lui-même partisan des courants triphasés (*Journal of Institution of electrical Engineers*, juin 1902).

LIGNE	SYSTÈME	POIDS des voitures motrices vides.	NOMBRE DE VOYAGEURS	NOMBRE de moteurs	PUISSANCE maximum par moteur	POIDS total des moteurs	VITESSE de marche
		tonnes				tonnes	km
Varèse.	Courant continu (transport par courants triphasés)	40	63 places assises 12 » debout	4	150	10	90
Lecco.	Courants triphasés (montage en cascade)	53	56 places assises	4	2 à 150 2 à 75	15,2	60

On n'a qu'à comparer les résultats, il n'est pas besoin de donner des raisons techniques.

E) Le professeur S.-P. Thompson (*Journal of the Institution of electrical Engineers*, juin 1902, p. 1028). L'époque où l'on pensait sérieusement pouvoir employer des moteurs à courant continu pour la traction électrique de trains lourds est déjà éloignée. Une machine munie d'un collecteur n'a pas la moindre chance d'être jamais employée pour des chemins de fer à longue distance et grande vitesse. Egalement à propos de la discussion relative au métropolitain de Londres (inner cirrcle). S.-P. Thompson s'est prononcé pour l'emploi exclusif des courants triphasés.

F) Le professeur W. Kubler (Le moteur triphasé comme moteur de traction, Leipzig, A. Félix.)

[1] Sans cela dans un tel cas défavorable, quand par exemple deux trains doivent démarrer simultanément, ceux-ci restent simplement en place.

[1] Depuis d'autres points de comparaison m'ont été communiqués par M. Armstrong, ingénieur de la construction des chemins de fer à la General Electric C°, et je me réserve de les publier ; on doit mentionner spécialement la condition défavorable pour l'éclairage des trains, provenant de la variation de la tension des courants triphasés.

La méthode américaine (système avec transformateurs rotatifs) a pour les fabriques l'agrément d'exiger toute une série d'appareils, et de promettre vu son intérêt théorique un emploi de plus en plus grand des transformatrices (1) (p. 5).

Une cause peu négligeable (du mépris pour le moteur à courants triphasés) est que celui-ci n'était pas compris dans les cercles intéressés — ou bien ne devait pas être compris (! ?) (p. 5).

Avec les courants triphasés on arriverait à des poids moindres pour les moteurs (! ?) (p. 7).

Nous voyons qu'à tous les points de vue, le système à courants triphasés (! ?) présente des avantages (2) (p. 9).

On peut récupérer par l'emploi des courants triphasés plus du tiers de l'énergie du freinage (3) (p. 9).

A la page 14, Schimpff, dit qu'aux Etats-Unis, le système de traction avec transformatrices rotatives est peu employé ; en réalité il y a d'innombrables installations en service.

A la page 15, d'après Wilson, le moteur à courants triphasés a une consommation maximum moindre et accélère mieux, et en tout cas a une dépense moyenne moindre.

On peut munir facilement le moteur à courants triphasés, aussi bien que le moteur à courant continu, de dispositifs qui diminuent la perte d'énergie dissipée dans l'appareil ordinaire de démarrage, et obtenir un rendement pour le démarrage, qui tout au moins n'est pas inférieur à celui du moteur à courant continu (! ?). (On vise ainsi les montages en cascade et avec variation du nombre de pôles (4) qui sont compliqués et donnent des résultats peu économiques, en outre le couplage en étoile et triangle, ainsi que l'emploi d'une deuxième fréquence moins élevée !!), p. 49.

(1) En Amérique il y a près de 400 000 kilowatts de transformatrices rotatrices en service. En outre, les courants triphasés purs, exigent souvent plus respectivement de plus grosses machines que le « système américain » (F. N.).

(2) Steinmetz dit dans les *Transactions of american electrical Engineers*, 1902 : Il faut se demander, si les courants triphasés présentent un avantage quelconque au point de vue de la traction sur le courant continu.

(3) Pratiquement on a trouvé généralement moins de 10 p. 100.

(4) On doit tenir compte de la critique du livre de Kübler dans l'*Electrician* du 24 avril 1903.

Dans le cas d'une exploitation analogue à celle d'un métropolitain, les voitures à courants triphasés peuvent être plus légères que celles à courant continu (p. 51). Au même endroit on indique que la traction par courants triphasés offre plus de sécurité que celle par courants continus.

Les chemins de fer triphasés — les métropolitains non exceptés — sont pour les mêmes conditions beaucoup plus économiques comme installation que les chemins de fer à courant continu (! ?), p. 52.

La crainte que le moteur triphasé chauffe trop (1) est exagérée, et même en tenant compte de la facilité de ventilation du bâti, on peut prétendre que l'échauffement est moindre (2) (p. 71).

En temps de neige le moteur triphasé présente encore un avantage, on peut augmenter de beaucoup son effort de traction en augmentant un peu la tension à ses bornes (3) (p. 100).

L'ingénieur de traction ayant de la pratique, n'aura pas lu sans étonnement les conclusions des paragraphes E et F.

TÉLÉGRAPHIE

Télégraphie par ondes électriques, système Blochmann, par **R. Blochmann**. *Revue générale des Sciences*, t. XIV, p. 808-810, 15 août 1903.

Dans ce système les ondes électriques, émises par un oscillateur, sont envoyées dans une direction déterminée en les faisant réfracter à travers une lentille de matière diélectrique au foyer de laquelle est placé l'oscillateur. Au poste récepteur le détecteur d'ondes (cohéreur ou tout autre appareil) est également disposé au foyer d'une lentille semblable dont l'axe principal est

(1) Ceci a été prétendu par moi pour les métropolitains et les chemins de fer de banlieue à trafic difficile, et doit naturellement être maintenu (F. N.).

(2) Qu'est-ce qui peut empêcher de ventiler également dans le cas de courant continu ?

(3) Ainsi qu'on le sait le moteur série a, par lui-même, sans aucun couplage spécial, un couple de traction maximum, beaucoup plus élevé que le moteur d'induction, même quand celui-ci est couplé de la manière la plus favorable.

orienté suivant la direction de l'axe principal de la lentille d'émission.

L'auteur revendique pour ce dispositif divers avantages sur les dispositifs à antennes. En particulier, par suite de la nécessité même d'un réglage des lentilles, le poste récepteur ne peut être influencé par des signaux provenant d'une station autre que celle avec laquelle il doit normalement communiquer, ce qui évite les troubles, intentionnels ou non, dans la réception. D'autre part, le secret des dépêches serait relativement facile à assurer. Enfin il serait possible de déterminer la direction de propagation des ondes venant frapper la lentille réceptrice dans le cas où l'axe principal de celle-ci ne serait pas précisément dans cette direction ; pour cela il suffirait de disposer dans le plan focal de cette lentille, plusieurs détecteurs d'ondes disposés sur une même ligne horizontale ; suivant la direction des ondes incidentes l'un ou l'autre de ces détecteurs serait mis en action.

L'auteur signale très brièvement les résultats de quelques expériences faites avec son dispositif. D'après ces expériences les dimensions des lentilles n'ont pas besoin d'être très grandes par rapport aux longueurs des ondes ; ainsi l'auteur a réussi à envoyer des télégrammes à une distance de plus d'un kilomètre avec des lentilles d'un diamètre de 80 cm, des ondes d'une longueur de 20 cm et une dépense de puissance dans le primaire de moins d'un kilowatt. En utilisant un récepteur avec plusieurs détecteurs on a pu déterminer la direction de propagation des ondes avec une approximation de quelques degrés [1]. Ces résultats paraissent indiquer que les phénomènes de diffraction n'auraient pas une importance aussi grande qu'on pourrait le craindre.

DIVERS

Procédé graphique pour déduire les équations électrométriques, par **A. König**. *Electrotechn. Anzeiger*, t. XX, n° 60, p. 1837-1840, 26 juillet 1903.

L'auteur indique un procédé pour déduire la formule spéciale pour toute disposition électrométrique, et ce de la manière la plus simple. Cette méthode mérite d'autant plus d'intérêt que d'un côté les instruments électrostatiques ont, dans ces temps derniers, trouvé des emplois de plus en plus étendus dans la pratique industrielle et que, d'autre part, l'on ne possédait pas de procédé général et pratique qui permît de formuler ces équations.

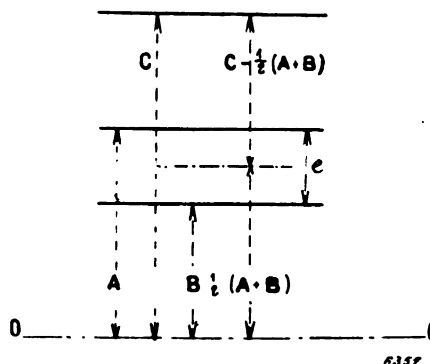


Fig. 21.

On sait que Maxwell a déduit une relation s'appliquant au cas des déviations très petites. Bien que cette équation fondamentale ne soit pas à l'abri des objections et que, par exemple, MM. Hallwachs et Gouy l'aient complétée en tenant compte des potentiels de contact des métaux qui se manifestent, l'auteur n'hésite pas à la choisir pour point de départ. Selon lui, cette formule serait en effet susceptible de fournir des valeurs très convenables dans le cas où l'on en ferait un usage intelligent. Dans la forme donnée par Maxwell, cette relation est la suivante :

$$K\alpha = c(A - B). \left[C - \frac{1}{2}(A + B)\right],$$

ou

$$\alpha = \frac{c}{K}(A - B). \left[C - \frac{1}{2}(A + B)\right],$$

où A et B sont respectivement les potentiels des deux paires de quadrants ; C, celui de l'aiguille ; K, une constante relative à la suspension ; α, la déviation ; c, la capacité de l'aiguille pour l'unité d'angle.

En tenant compte de ce que les grandeurs A, B et C, dans cette formule, ne sont que des po-

[1] Il résulterait de là la possibilité de déterminer la position à peu près exacte d'un navire perdu dans le brouillard pourvu que les ondes émises par ce navire soient reçues par *deux* stations de la côte.

tentiels, on trouve sans peine le diagramme et la formule de l'électromètre, pour tous les cas qui peuvent se présenter. Supposons que l'ordre des potentiels soit le suivant :

$$C > A > B;$$

en les portant à partir d'une ligne initiale quelconque, la ligne de zéro, qui représentera le potentiel de la Terre, l'on obtient le diagramme donné dans la figure 1. Le tracé graphique fait voir, sans peine, que les deux termes :

$$A - B \text{ et } C - \frac{1}{2}(A + B)$$

représentent des différences de potentiel. En choisissant pour elles les désignations e et E respectivement, on donne à l'équation de Maxwell la forme générale qui suit :

$$\alpha = K.e.E.$$

Pour bien appliquer la méthode dont voilà le principe fondamental, il faut se rendre compte parfaitement et au préalable de l'ordre de grandeur des différents potentiels. L'auteur donne, à titre d'exemple, quelques applications à des cas courants, qui illustrent bien la simplicité et la sûreté de ce procédé.

A. Gradenwitz.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 24 Août 1903 (1).

Sur le rôle des noyaux métalliques des bobines, par **B. Eginitis**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 438-439.

La sensibilité de l'échauffement des pôles aux variations de la self-induction du circuit de décharge a servi à l'auteur pour étudier l'influence des noyaux métalliques des bobines de self-induction. Les expériences ont été faites en opérant sur des étincelles consécutives.

M. Eginitis a étudié l'influence du fer, du laiton et du cuivre. D'après ses expériences, cette influence varie avec la valeur de la self-induction de la bobine, la nature et le diamètre des noyaux, la nature des pôles, la distance explosive, etc.

Les résultats de cette étude sont les suivants :

1. *L'influence d'un noyau dépend de la forme de la bobine.* — Deux bobines ayant la même self-induction, dont l'une est construite en longueur et l'autre en épaisseur, donnent des résultats différents. Avec une bobine longue, l'effet d'un noyau est *plus grand* qu'avec une bobine courte.

2. *Deux noyaux de mêmes dimensions, mais dont l'un est creux et l'autre plein, n'ont pas le même effet sur la décharge.* — Ainsi, deux noyaux de fer de 18 mm de diamètre, dont l'un est creux et l'autre plein, introduits dans une bobine, n'ont pas donné les mêmes résultats.

3. *L'action d'un noyau diminue quand la self-induction augmente, et augmente quand son diamètre augmente* (au moins jusqu'à une certaine limite).

4. *Un noyau peut n'avoir aucune influence.* — Ainsi, un noyau de laiton de 20 mm de diamètre, ou de cuivre de 40 mm de diamètre, introduits dans une bobine de 0,0006 henry n'ont aucune influence.

5. *L'action d'un noyau dépend de la température des pôles, de leur nature et de la distance explosive.* — Nous citerons seulement, comme exemple, la destruction de l'effet d'un noyau par l'augmentation artificielle de la température initiale des pôles.

6. *Un noyau de fer a une action plus forte qu'un noyau de laiton, dont l'action est elle-même plus forte que celle d'un noyau de cuivre.*

(1) Aucune communication d'ordre électrique n'a été faite aux séances des 10 et 17 août.

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXXVI Samedi 19 Septembre 1903. 10e Année. — N° 38

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

CONSTITUTION DES FERS CARBURÉS

1. Ayant à présenter dans cette revue l'ensemble des progrès récents dans l'étude du magnétisme, j'ai pensé qu'il convenait d'y faire d'abord un exposé des idées actuelles relatives à la constitution des fers carburés. Les propriétés magnétiques de ces substances sont en effet intimement liées à leur constitution et à leur structure, et aux transformations de la constitution et de la structure avec le traitement thermique et mécanique qu'on leur fait subir. D'ailleurs cette question présente un grand intérêt au point de vue industriel et au point de vue scientifique. L'amélioration des fers et aciers est plus que jamais à l'ordre du jour. L'étude de leur constitution touche à plusieurs sujets importants : transformations allotropiques, influence des corps étrangers unis au corps qui se transforme, propriétés des solutions solides, structure des alliages, application de la règle des phases. « Il semble, dit Roberts-Austen, que la nature ait enchâssé dans l'acier une partie de ses secrets les plus complexes ». D'importants travaux ont été faits récemment pour chercher à pénétrer ces secrets; les idées sont loin d'être fixées, mais leur évolution est assez avancée pour qu'il soit possible d'en donner un aperçu général.

Cette étude comprendra donc trois parties : 1° Constitution et structure des fers carburés ; 2° Progrès récents dans l'étude du magnétisme ; 3° Relations entre la constitution des fers carburés et leurs propriétés magnétiques.

I. — États allotropiques du fer.

2. Lorsque la température du fer à peu près pur varie, la variation de ses propriétés physiques présente des discontinuités qui ont permis de définir des points de transformation.

Les températures correspondantes n'ont été fixées que difficilement, parce que les corps joints au fer, même en petite quantité, les font varier; de plus les transformations correspondantes ne sont pas instantanées, de sorte que même en faisant varier lentement la température il est difficile de les localiser; enfin l'évaluation des températures élevées présente de grandes difficultés. On admet actuellement trois états allotropiques :

Fer α	stable de la température ordinaire	à	770° environ	
Fer β	de	770°	à	890°
Fer γ	de	890°	à la fusion.	

Le point de transformation 770° est souvent désigné par A_2 et le point 890° par A_3 (notations de M. Osmond).

La transformation de α en β a lieu avec absorption de chaleur; elle ne paraît pas brusque ; celle de β en γ, avec une absorption de chaleur plus grande que la précédente ; elle est aussi plus nette et plus brusque.

Certains faits paraissent déceler d'autres points de transformation, l'un vers 1250 ou 1300°, l'autre vers 600°, et peut-être même encore d'autres à plus basse température ; mais ces points sont incertains, et, en tous cas, moins importants que A_2 et A_3.

Je ne décrirai pas ici les variations dans les propriétés physiques qui caractérisent ces points de transformation (1) ; j'indiquerai seulement de suite que la variété α est seule très magnétique.

3. Propriétés cristallographiques (2). — M. Osmond les a étudiées en réunissant d'abord tous les renseignements qu'il a pu se procurer dans les publications des métallurgistes et en examinant un grand nombre d'échantillons remarquables, puis en effectuant, avec M. Cartaud, des synthèses à des températures intermédiaires entre les points de transformation (réduction du chlorure ferreux par l'hydrogène ou la vapeur de zinc). Les cristaux n'ont jamais été assez gros pour permettre les mesures au goniomètre, et ont été examinés au microscope.

Les fers α et β cristallisent en cubes, avec modifications fréquentes sur les arêtes, b^1 ou b^2, sans modifications sur les angles ; leurs formes sont identiques, et ils paraissent isomorphes, ce qui s'accorde bien avec le caractère progressif de leur transformation.

Le fer γ cristallise aussi dans le système cubique, mais en formes qui sont des combinaisons du cube et de l'octaèdre allant du cube parfait jusqu'à des formes très rapprochées de l'octaèdre ; il y a association fréquente par accolement des troncatures a^1 ; on n'y trouve pas de modifications sur les arêtes.

M. Osmond fait remarquer que les différences cristallographiqnes qui existent entre γ et α, β sont de l'ordre de celles qu'on observe couramment sur des corps pour lesquels on n'a pas actuellement de raisons d'admettre différents états allotropiques ; si l'allotropie du fer n'avait pas été décelée autrement, l'étude cristallographique ne l'aurait pas révélée ; cette étude n'a pu être faite systématiquement que grâce à la connaissance des points de transformation.

4. En résumé, le fer présente trois états nettement caractérisés, α, β et γ ; nous allons voir maintenant ce qui se passe quand au fer est joint du carbone.

---

(1) C'est surtout à M. Osmond qu'on doit l'étude de ces transformations ; on trouvera l'exposé de ses travaux dans : *Ann. des Mines*, (8), t. XIV, p. 1-94; 1888 (ce mémoire renferme la bibliographie de la question), ou dans : *Journ. of the iron and steel Institute*, 1890 ; ou encore : *Transformations du fer et du carbone*, Paris, 1888.

(2) F. Osmond, *Ann. des Mines* (9), t. XVII, p. 110 ; 1900. — Osmond et Cartaud, *Ann. des Mines*, t. XVIII, p. 113 ; 1900.

II. — États stables des fers carburés

Transformations en fonction de la température.

5. Les phénomènes sont, au premier abord, extrêmement complexes. Il est cependant possible d'y mettre un peu d'ordre : à chaque température et à chaque teneur en carbone correspond un certain état stable, qui n'est atteint que si la température est maintenue longtemps constante. C'est la variation de ces états stables avec la température que nous allons étudier d'abord, en prenant pour guide un mémoire où M. Bakhuis-Roozeboom a interprété le mieux possible les faits connus, en les rapprochant de résultats bien établis pour les sels (1).

Solidification. — 6. Nous supposerons donc que, partant du corps à l'état liquide, on le laisse refroidir assez lentement pour qu'à chaque température l'état stable soit atteint ; comment on peut avoir des renseignements sur ces états, c'est ce que nous verrons ensuite. Je laisserai de côté les transformations qui sont douteuses ; l'ensemble de celles sur lesquelles les auteurs sont à peu près d'accord est suffisant pour caractériser l'allure des phénomènes. Les états d'équilibre stable peuvent être représentés par la figure 1 que j'emprunte, en la simplifiant, au mémoire de M. Roozeboom; les températures y sont portées en ordonnées et les teneurs en carbone en abscisses.

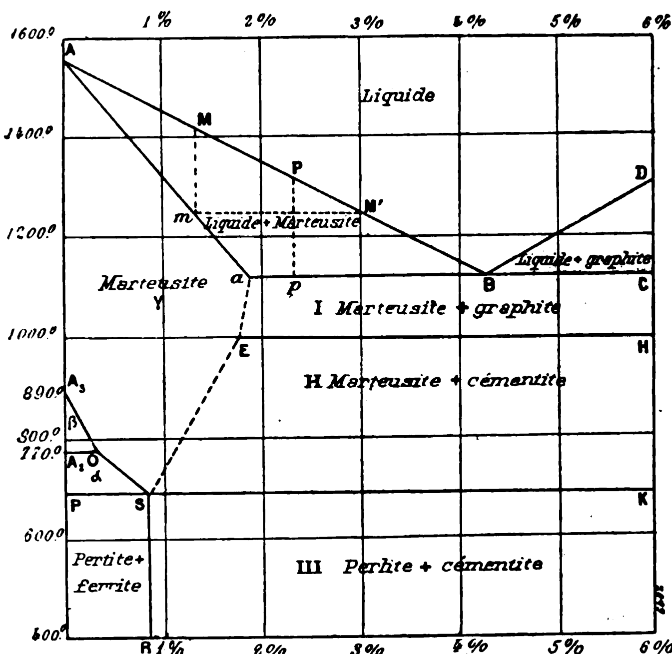


Fig. 1. — Graphique schématique des états stables des fers carburés en fonction de la température (ordonnées) et la teneur en carbone (abscisses) (2).

A haute température, le corps est à l'état liquide ; il commence à se solidifier à une température qui dépend de sa composition, et qui présente un minimum ou plutôt un point anguleux (courbes AB et BD, (3)) ; le point B correspond à environ 4,3 p. 100 de carbone et une température de 1130°.

(1) Il serait bien difficile de donner une bibliographie un peu complète de l'étude des fers carburés ; je citerai chemin faisant les principaux mémoires ; j'indiquerai seulement ici quelques grands articles d'exposition :

H. Le Chatelier, Les théories de la trempe de l'acier, *Revue Gén. des Sciences*, t. VIII, p. 11 ; 1897.

Roberts-Austen, 4e Rapport du Comité des alliages à l'Institution of Mechanical Engineers de Londres, *Proc. of the Inst. of Mech. Eng*, 4 fév. 1897 ; *Bull. de la Soc. d'Encourag. pour l'Ind. nationale*, 1897, p. 523. — 5e Rapport, *Proc. of the Inst. of Mech. Eng.*, 9 févr. 1899 ; *Bull. de la Soc. d'Encourag.*, 1899, p. 458. — Adresse à l'Iron and Steel Institute, *Bull. de la Soc. d'Encourag.*, (5), t. VI, p. 522 ; 1900.

Bakhuis-Roozeboom, Le fer et l'acier au point de vue de la doctrine des phases, *Zeitschrift f. physikalische Chemie*, t. XXXIV, p. 437 ; 1900. — *Bull. de la Soc. d'Encouragement*, (5), t. VI, p. 609 ; 1900.

Osmond, Le Chatelier, Remarques à propos de l'article précédent, *Bull. de la Soc. d'Enc.*, id., p. 652 et 661.

(2) Sur cette figure, ainsi que sur la figure 2, le dessinateur a écrit *marteusite* ; c'est *martensite* qu'il faut lire.

(3) Dans le graphique on a considéré toutes les courbes comme des lignes droites, leur forme étant pour la plupart mal connue et très discutée actuellement.

7. *Au-dessus de 4,3 p. 100*, ce qui se dépose au commencement de la solidification est du graphite ; à mesure qu'il se sépare, la teneur du liquide-mère en carbone diminue, et, d'après l'allure de la courbe BD. la température de solidification s'abaisse jusqu'à sa valeur minimum 1130°, c'est-à-dire jusqu'à ce que le liquide-mère ait acquis la composition correspondant au point B, 4,3 p. 100 ; alors la solidification s'achève à température constante, le liquide restant passe à l'état solide avec la même composition qu'au point B (droite horizontale BC) ; le carbone se répartit d'ailleurs comme nous allons le voir plus loin.

8. *De 0 à 4,3 p. 100* la matière qui se dépose au commencement de la solidification est formée de cristaux mixtes fer-carbone, contenant une proportion variable de carbone ; on admet que c'est une solution solide de carbone dans le fer, et on lui a donné le nom de *martensite* ; la martensite qui se dépose pour un certain point M contient moins de carbone que le liquide aux dépens duquel elle se forme ; le liquide s'enrichit donc en carbone, et, par suite de l'allure de la courbe AB, la température de solidification s'abaisse ; à mesure, la martensite qui se dépose est plus riche en carbone.

S'il y a assez de carbone, la température s'abaisse jusqu'à 1130°, c'est-à-dire jusqu'à ce que le liquide-mère ait pris la composition correspondant au point B, 4,3 p. 100 ; alors la solidification s'achève à température constante, le liquide restant passe à l'état solide avec la même composition qu'au point B, exactement comme dans le cas précédent (droite horizontale *a*B) ; la matière qui se solidifie suivant *a*BC à 1130° a ainsi une composition constante.

S'il y a peu de carbone, la solidification se termine en *m*, au-dessus de 1130°, par une martensite qui a la même composition que celle qui se déposerait pour le point M′ situé sur la même horizontale que *m*, au commencement de la solidification ; le lieu des points *m* est une courbe qui part du point A, point de solidification du fer pur, et qui vient couper en un certain point *a* l'horizontale 1130° ; la martensite par laquelle se termine la solidification en *a* a la même composition que celle par laquelle commencerait la solidification très près de B, c'est-à-dire la martensite de teneur maximum en carbone ; cette martensite à teneur maximum paraît être à 2 p. 100 de carbone environ ; (on lui a quelquefois donné le nom spécial de hardenite, que je n'emploierai pas pour ne pas compliquer) ; le point *a* correspond par suite à une teneur en carbone un peu inférieure à 2 p. 100.

Considérons maintenant un point P ; le long de P*p* se dépose une martensite de teneur croissante, jusqu'à la teneur maximum, et, en *p*, le corps comprend une partie en martensite maximum, solidifiée, et un liquide restant, à 4,3 p. 100 de carbone, lequel se solidifie à température constante 1130°.

9. Ce mélange à 4,3 p. 100 qui se solidifie ainsi à température constante tout le long de *a*BC (additionné de martensite suivant *a*B et de graphite suivant BC) est un mélange eutectique de martensite maximum et de graphite, où le carbone se répartit entre ces deux corps : cet eutectique comprend ainsi environ 2,3 p. 100 de graphite et 97,7 p. 100 de martensite maximum, intimement mélangés.

10. En résumé, après solidification, nous avons : à gauche de *a* une martensite (cristaux mixtes) de composition moyenne variable ; à droite de *a*, à 1130°, un mélange de graphite et de martensite (presque partout voisine de la martensite maximum) ; mais la structure diffère pour *a*B et BC : sur *a*B, il y a squelette de martensite et remplissage par le conglomérat eutectique (martensite maximum + graphite) ; sur BC, il y a squelette de graphite et remplissage par le conglomérat eutectique.

Transformations après solidification. — 11. 1° *Au-dessus de 2 p. 100*. — Dans les mélanges solides dont nous venons de parler se produisent de nouvelles transformations

aux températures inférieures à 1130°. Occupons-nous d'abord des mélanges les plus riches en carbone, formés de martensite et de graphite, c'est-à-dire correspondant à l'espace *a*BC (au-dessus de 1,9 ou 2 p. 100 de carbone); à une température qui paraît être voisine de 1 000° s'y forme la *cémentite*, le seul des constituants des fers carburés, après le fer lui-même, qui soit certainement un composé défini, Fe^3C (correspondant à 6,6 p. 100 de C).

Mais entre 1130 et 1 000° le mélange n'est pas resté fixe; la solution solide qu'est la martensite s'est modifiée axec la température; il est probable que la solubilité du carbone dans le fer décroît avec la température, c'est-à-dire que le titre de la martensite à teneur maximum s'abaisse, avec mise en liberté de graphite qui s'ajoute à celui existant; on peut admettre que ce titre maximum n'est plus que 1,8 p. 100 à 1 000°; la cémentite Fe^3C se forme alors aux dépens de la martensite et du graphite; s'il y a dans le corps plus de 6,6 p. 100 de carbone, le résultat de la transformation sera un mélange de cémentite et de graphite en excès; s'il y a moins de 6,6 p. 100, ce sera un mélange de cémentite avec la martensite à 1,8 p. 100 en excès : tous les fers carburés ordinaires rentrent dans ce cas.

Au-dessous de 1 000°, le mélange cémentite-martensite continue à se modifier, toujours pour la même raison, la diminution du titre maximum de la solution martensite; celle-ci met peu à peu en liberté du carbone qui s'unit à une partie de la martensite pour former de la cémentite, dont la quantité augmente ainsi; il semble cependant qu'une partie de ce carbone mis en liberté persiste à l'état de graphite, si lente que soit la transformation; ce graphite est très divisé, plus finement que celui produit comme nous l'avons vu jusqu'ici.

Vers 690° la martensite renferme environ 0,85 p. 100 de carbone; elle subit vers cette température une destruction complète, en donnant du fer (*ferrite*) et de la cémentite; mais ces deux corps forment un conglomérat très serré d'une structure si caractérisée qu'on lui a donné un nom spécial; c'est la *perlite*, qui a ainsi même composition centésimale que la martensite qui lui a donné naissance, soit 0,85 p. 100 de carbone.

Au-dessous de 690°, c'est-à-dire de l'horizontale SK, le fer carburé est donc formé de perlite et de cémentite; la droite correspondante SR est la limite du domaine perlite-cémentite et d'un domaine perlite-ferrite que nous allons rencontrer en nous occupant des transformations des corps formés seulement de martensite.

12. *De 2 à 0,85 p. 100.* — Reprenons donc la martensite de composition variable qui existe après solidification totale, au-dessous de A*a*; pour les plus fortes teneurs en carbone, à mesure que la température baisse le pouvoir dissolvant maximum du fer dans le carbone décroît, comme nous l'avons vu; un corps d'une certaine teneur en carbone (au-dessus de 0,85 p. 100) arrivera à une température telle qu'il laissera déposer soit du graphite, soit de la cémentite. Le domaine martensite est donc séparé du domaine que nous avons étudié tout à l'heure par deux courbes qui représentent, en fonction de la température, la teneur limite de la martensite en présence, respectivement, de graphite et de cémentite. Mais la chose se complique ici : j'ai dit plus haut qu'une partie du carbone qui se produit dans la région martensite-cémentite paraît persister à l'état de graphite; il est donc difficile de dire laquelle des deux courbes est la véritable frontière en chaque point. Sur le graphique on a supposé, avec M. Roozeboom, deux portions de courbe se coupant en un point E, sur l'horizontale 1 000°, ce point E correspondant à 1,8 p. 100 de carbone; pour M. Le Châtelier, les deux courbes ne se couperaient pas, celle qui correspond à l'équilibre avec le graphite étant au-dessus de l'autre.

13. *Au-dessous de 0,85 p. 100.* Il nous reste à examiner le cas où la teneur en carbone est inférieure à 0,85 p. 100. Alors interviennent d'une manière très apparente les transformations du fer.

S'il s'agit de fer pur, il est à l'état γ au-dessus de 890° (point A_2, fig. 1 ou fig. 2, à plus grande échelle) ; il se transforme en β à 890° et celui-ci en α à 770°.

L'adjonction de carbone abaisse les points de transformation ; considérons donc un corps à faible teneur en carbone, 0,1 ou 0,2 p. 100 par exemple ; à partir de sa solidification complète (sur A*a*), il est à l'état de martensite (solution solide) et sa composition reste invariable pour un long intervalle de température ; le fer y est à l'état γ ; à une certaine température, inférieure à 890°, la transformation de γ en β se produit ; or, tandis que γ peut dissoudre du carbone, β ne paraît pas pouvoir le dissoudre en quantité appréciable ; β commence donc à se séparer de la martensite, et le lieu des points où cette séparation commence pour les différentes teneurs en carbone est une certaine courbe A_3O ; dans le corps considéré, la séparation de fer β enrichit la martensite-mère en carbone ; la température de séparation s'abaisse, du fer β continue à se séparer de la martensite à température de plus en plus basse, jusqu'à 770° ; à cette température, le fer β existant, dont la température de transformation en α n'est pas altérée, puisqu'il ne contient pas de carbone dissous, se transforme tout entier en α ; la variété α ne paraît pas dissoudre non plus le carbone. Le corps devient donc, au-dessous de 770°, un complexe de fer α et de martensite ; du fer continue à se séparer de celle-ci à mesure que la température baisse, sous forme α, et cette séparation continue jusqu'à 690° ; à cette température, la martensite atteint la teneur 0,85 p. 100 ; c'est la température de destruction complète de la martensite, qui se transforme complètement en perlite (ferrite + cémentite).

Fig. 2. — États stables des fers carburés à faible teneur de carbone.

Nous venons de suivre les transformations d'un corps à 0,1 ou 0,2 p. 100 de carbone ; mais, pour une certaine teneur, la courbe A_3O, lieu des points où du fer commence à se séparer de la martensite, atteint 770° ; le fer qui se sépare dès le début est alors du fer α ; cette teneur limite paraît être environ 0,35 p. 100. Ainsi, pour les corps contenant de 0,35 à 0,85 p. 100 de carbone, il n'y a jamais de fer β ; le point de séparation du fer α s'y abaisse, à partir de 770°, quand la teneur augmente, d'où une courbe OS ; entre cette courbe et 690°, du fer α continue à se séparer, et, à 690°, on retrouve la transformation du reste de la martensite en perlite.

14. En résumé, à 690° pour toutes les teneurs en carbone de 0 à 6,6 p. 100, il y a formation de perlite ; pour 0,85 p. 100 (environ) la perlite est seule ; au-dessus de 0,85 p. 100 elle est accompagnée de cémentite dont la proportion augmente avec la teneur en carbone ; au-dessous de 0,85 p. 100, elle est accompagnée de fer α (ferrite) dont la proportion est d'autant plus grande que la teneur en carbone est plus faible. La perlite joue ainsi le rôle d'un conglomérat eutectique de ferrite et de cémentite (environ 87 p. 100 de ferrite et 13 p. 100 de cémentite.

Au-dessous de 690° s'accomplissent peut-être de nouvelles transformations conduisant à d'autres états stables ; en tous cas, si elles existent elles sont peu apparentes, et on admet provisoirement que l'état stable au-dessous de 690° l'est jusqu'à la température ordinaire (1).

(1) Tout ce qui précède doit être beaucoup modifié si au fer et au carbone sont joints un ou plusieurs autres corps en proportion importante ; ces alliages sont actuellement l'objet de nombreuses études, et on est très loin d'être fixé à leur sujet.

15. *Remarque.* — Le dernière partie de cet exposé montre comment les points de transformation, nettement séparés pour le fer presque pur, se trouvent reliés dès que la proportion de carbone devient appréciable, et bientôt réunis.

Influence de la rapidité des variations de température. — 16. Mais l'état réel des fers carburés à la température ordinaire est très loin d'être aussi simple : pour suivre les transformations précédentes, nous avons supposé les variations de température assez lentes pour qu'à chaque température l'état stable correspondant ait le temps de s'établir ; il faudrait pour cela une extrême lenteur, les transformations dans une masse solide étant naturellement plus lentes que dans un liquide. Dans les procédés ordinaires de fabrication, le refroidissement est assez rapide pour que les transformations soient incomplètes, de sorte qu'à la température ordinaire les corps se trouvent dans un état *métastable*, qui dépend de la teneur en carbone et de la vitesse de refroidissement aux différents instants de ce refroidissement.

Supposons maintenant qu'on soumette un fer carburé à un réchauffement à partir de la température ordinaire ; si ce fer y était d'abord à son état stable, et que le réchauffement soit infiniment lent, il passera par la suite d'états stables que nous avons étudiés ; s'il était d'abord à un état métastable complexe, et qu'on le chauffe jusqu'à une température qu'on maintient longtemps, les transformations tendent à se produire de manière à réaliser l'état stable à cette température. Il y aurait à faire à ce sujet quelques réserves provenant du changement de structure dû à une chauffe prolongée et de ce fait qu'une transformation qui se produit en entier à une certaine température quand la température varie d'une manière extrêmement lente peut se répartir sur un certain intervalle de températures, lorsque la variation est assez rapide ; mais ces deux points seront examinés plus loin.

Pour l'instant, retenons seulement qu'un fer carburé peut être obtenu à son état stable à haute température soit par un refroidissement lent à partir de l'état du liquide, soit par un réchauffage convenable ; si alors on l'amène *brusquement* à la température ordinaire, les transformations intermédiaires n'ont pas le temps de se produire en proportion notable, et le fer carburé arrive à la température ordinaire à un état métastable qui est très voisin de l'état (stable) qu'il avait à la température à partir de laquelle on l'a refroidi brusquement. Cette suppression des transformations par abaissement rapide de la température est particulièrement nette pour les teneurs de 0,4 à 1,7 ou 1,8 p. 100, et ce phénomène semble être un des facteurs principaux de la *trempe*. J'y reviendrai plus loin.

17. Avant d'exposer les conséquences de l'étude précédente, il est nécessaire de faire quelques remarques [1].

18. Remarque I. — *Procédés d'étude.* — Dans l'exposé précédent j'ai fait complète abstraction des procédés par lesquels on est arrivé aux résultats indiqués. Ces procédés sont évidemment multiples et complexes. Le principal est l'observation de la structure d'échantillons de composition et d'histoire connues (cassure, surface, section). On facilite beaucoup l'observation en polissant la partie à étudier et en l'attaquant par des réactifs qui ont une action différente sur les divers constituants. La métallographie est devenue, grâce aux efforts de nombreux savants (Sorby, Sauveur, Stead, Roberts-Austen, Osmond, H. Le Châtelier,

[1] La première remarque à faire est la suivante : si quelque métallurgiste vient à parcourir cet article, il lui paraîtra peut-être trop affirmatif sur beaucoup de points ; mais il est bien entendu que j'indique seulement les idées les plus importantes et les mieux étayées par l'expérience, sans examiner par le détail certains faits encore mal expliqués ; j'espère seulement donner une vue d'ensemble qui permette de se bien reconnaître dans les publications très intéressantes mais parfois un peu complexes des métallurgistes.

Charpy, etc.), un procédé d'étude précieux qui a fourni non seulement sur les fers carburés mais sur tous les alliages d'innombrables renseignements.

L'analyse chimique donne aussi des renseignements, grâce à la différence d'action des réactifs, qui permet une sorte d'analyse élémentaire.

Enfin l'étude des propriétés physiques et de leurs variations avec la température constitue une autre méthode de recherches.

Il ne saurait entrer dans le cadre de cet article d'indiquer, même en résumé, tous ces travaux et je me bornerai de citer quelques-uns des principaux (1).

Les résultats expérimentaux, malgré leur nombre, sont loin d'être suffisants pour permettre de préciser complètement les transformations ; les points limites et les courbes qui les joignent sont en réalité assez mal définis ; même, plusieurs des particularités indiquées ont échappé jusqu'ici à toute vérification expérimentale et ne paraissent s'imposer que par la comparaison avec les propriétés générales des solutions. Par exemple, le processus de la solidification de la martensite a été admis par M. Roozeboom comme analogue à celui de la formation de cristaux mixtes dans plusieurs solutions salines étudiées par lui ou par ses élèves. Plus tard, tous ces points seront sans doute précisés : mais il est probable qu'il n'y aura pas de modification fondamentale à faire à l'exposé précédent.

19. Remarque II. — *Influence de la pression.* — Les transformations des fers carburés entraînent évidemment des variations de volume ; de là des pressions ou des tensions internes qui dépendent du traitement de la substance ; leur existence a été souvent constatée ; on ne sait cependant que peu de choses à ce sujet, qui est très complexe, car ces phénomènes influent sans doute sur les transformations elles-mêmes. Ils prennent probablement une grande importance lors d'un refroidissement brusque, comme le montrent les propriétés mécaniques des aciers trempés, et les travaux les plus récents sur la trempe les font intervenir, mais d'une manière encore vague (2).

20. Remarque III. — *Constituants autres que ceux indiqués plus haut.* — Dans les mémoires des métallurgistes on rencontre les noms de constituants autres que ceux intervenus dans l'exposé précédent (ferrite ou fer α, fers β et γ, graphite, martensite, cémentite Fe^3C, perlite) ; voici ce à quoi ils correspondent :

Dans les aciers trempés à forte teneur en carbone (voisine de 1,5 à 1,6 p. 100) et qui ont

(1) Osmond et Werth. Théorie cellulaire des propriétés de l'acier, *Ann. des Mines*, (8), t. VIII, p. 5-84 ; 1885.

Osmond. Etudes métallurgiques, *Ann. des Mines*, (8), t. XIV, p. 5-94 ; 1888.

Barus et Strouhal. Nombreux travaux dans les périodiques américains ; la bibliogr. en est faite dans : Osmond, *Ann. des Mines*, (8), t. XIV, p. 27 ; 1888.

Le Chatelier. Théorie de la trempe, *Revue gén. des Sciences*, t. VIII, p. 11 ; 1897.

Le Chatelier. Technique de la métallographie microscopique, *Bull. de la Soc. d'Encouragement pour l'ind. nationale*, (5), t. VI, p. 365 ; 1900.

Howe. Sur la trempe, *Engineering and Mining Journ.*, t. LXVI, déc. 1896 et janv. 1897 ; traduit dans : *Bull. de la Soc. d'Enc.*, (5), t. II, p. 287 ; 1897.

Stead. Structure du fer et de l'acier, *Iron and Steel Inst.*, t. LIII, p. 145-205, mai 1898 ; analysé par : Le Chatelier, *Bull. de la Soc. d'Enc.*, (5), t. IV, p. 127 ; 1899.

Ledebur, Wedding, Martens, Stahl und Eisen, passim.

Sauveur. Microstructure de l'acier, *Trans. of the Amer. Inst. of Min. Eng.*, t. XXII, p. 546-557, étudiée par : Osmond, *Ann. des Mines*, (9), t. VIII, p. 153 ; 1895.

A. Carnot. Analyse des fers, fontes et aciers, *Ann. des Mines*, (9), t. VIII, p. 357-478 et 481-539, 1895. — Carnot et Goutal, *Idem*, (9), t. XVIII, p. 263-300 ; 1900.

On trouvera une étude détaillée et la bibliographie dans le livre de H.-M. Howe, La métallurgie de l'acier, trad. par O. Hock, lib. Béranger, Paris. 1894, œuvre considérable et très documentée.

(2) V. les notes récentes de MM. Charpy, A. Le Chatelier et L. Guillet aux *C. R. de l'Acad. des Sciences* (16 mars, 27 avril et 2 juin 1903).

été trempés très brusquement à partir d'une température très élevée on trouve, à côté de la martensite ordinaire, une substance analogue, mais qui s'en différencie cependant par une dureté et des propriétés magnétiques moindres que celles de la martensite; elle est aussi moins attaquable par les réactifs; on l'a appelée l'*austenite*; M. Osmond a constaté qu'après que ces aciers ont été soumis à la température de l'air liquide ils sont redevenus plus magnétiques; leur austenite semble s'être rapprochée de la martensite ordinaire [1]. Il semble d'ailleurs que la terminologie ne soit pas ici bien satisfaisante : la solution solide constituée par les cristaux mixtes n'est certainement pas magnétique à haute température; la matière obtenue après trempe est au contraire magnétique; on pourrait réserver à celle-ci le nom de martensite, qui serait ainsi ce que deviennent les cristaux mixtes après refroidissement brusque; l'austenite serait une variété de martensite ayant conservé plus complètement à la température ordinaire les propriétés des cristaux mixtes à chaud et pouvant évoluer à très basse température vers la martensite ordinaire (Osmond, Le Châtelier).

La *sorbite* et la *troostite* sont moins bien caractérisées; d'après M. Osmond, on doit les considérer comme « les étapes, partiellement immobilisées à la température ordinaire, que parcourent les fers carburés en passant de l'état de cristaux mixtes γ au système perlite-cémentite »; M. Le Châtelier considère la troostite comme intermédiaire entre la martensite et la perlite; elle serait magnétique dès sa température de formation.

En somme, ces variétés portent sur la région aES qui, je l'ai déjà indiqué, est encore mal précisée.

21. Remarque IV. — *Influence des corps étrangers.* — Leur présence abaisse les points de transformation et modifie la vitesse de transformation; nous en verrons des exemples plus loin; lorsque leur proportion devient notable, les phénomènes sont tellement modifiés qu'il faut attendre de plus amples renseignements expérimentaux pour pouvoir formuler des conclusions générales.

22. Remarque V. — *Application de la règle des phases.* — N'ayant l'intention de développer ici que ce qui concerne les propriétés magnétiques des fers carburés, je renverrai pour le détail de l'application de la règle des phases aux mémoires de MM. Roozeboom et Le Châtelier déjà cités [2]. Je ferai simplement deux remarques :

La règle des phases ne s'applique qu'aux états d'équilibre; elle indique par exemple qu'à une pression déterminée trois phases ne peuvent coexister qu'à une seule température ainsi la courbe de séparation EH doit être horizontale (isotherme) parce qu'en chacun de ses points existent trois phases (martensite à 1,8 p. 100, cémentite et graphite). On rencontre souvent dans les aciers des constituants en nombre plus grand que ne le voudrait la règle des phases, mais il s'agit alors d'un état métastable, produit par une variation de température trop rapide pour que les transformations soient complètes, de sorte qu'il n'y a pas lieu de faire intervenir la règle des phases.

D'ailleurs, la règle des phases est établie en supposant comme facteurs la température et la pression; l'action d'un champ magnétique peut introduire ici un nouveau facteur, de sorte que les transformations dans un champ magnétique peuvent être différentes de ce qu'elles sont dans les conditions ordinaires [3]. Par exemple, les résultats de M. Curie [4]

---

(1) F. Osmond, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. CXXVIII, p. 1513; 1899.

(2) V. aussi : H. Le Chatelier, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. CXXX, p. 85, 8 janvier 1900.

(3) V. Ch.-Ed. Guillaume, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. CXXXVII, p. 45, 6 juillet 1903.

(4) P. Curie, *Ann. de Ch. et de Physique*, (7), t. V, p. 289; 1895.

***

semblent montrer que le point de transformation du fer α en fer β est élevé par l'action du champ magnétique (de quelques degrés).

III. — Etat des fers carburés ordinaires

23. L'exposé des résultats obtenus dans l'étude des fers carburés ordinaires serait très confus si on n'avait comme guide les considérations générales développées dans le chapitre précédent ; il suffit de se rapporter au graphique (fig. 1) pour voir en gros la composition d'un fer carburé d'une teneur donnée en carbone, préparé dans des conditions données de température.

On peut diviser les fers carburés ordinaires en deux catégories : les fontes et les fers et aciers. Les fontes sont les produits obtenus directement au haut fourneau ; les fers et aciers sont des produits moins carburés dont la presque totalité est obtenue à partir des fontes. Nous nous occuperons donc d'abord de celles-ci.

Fontes. — 24. Elles renferment habituellement de 2, 8 à 4,3 de carbone ; mais les autres corps existant dans le minerai s'y retrouvent en proportion très variable, presque toujours importante ; souvent il y en a plus que de carbone ; bien qu'aucun de ces corps n'ait d'influence comparable à celle du carbone, leur présence complique cependant beaucoup les phénomènes.

L'expérience montre que les fontes refroidies lentement renferment beaucoup de graphite disséminé, d'où la couleur qui leur a fait donner le nom de fontes grises ; elles se laissent travailler, résistent au choc : toutes les fontes qu'on utilise directement sont des fontes grises (ou des fontes blanches amenées à l'état de fontes grises comme nous le verrons plus loin).

Si le refroidissement est rapide, on obtient au contraire des fontes blanches, c'est-à-dire où il n'y a que peu ou pas de carbone à l'état de graphite ; elles sont difficiles à travailler, fragiles : elles ne sont jamais employées directement.

Les deux variétés se prêtent aussi bien à la transformation en fers ou aciers, et les fontes d'affinage (destinées à être affinées en fers ou aciers) sont indifféremment grises ou blanches.

Essayons d'interpréter ces résultats par les transformations que nous avons admises. Nous avons supposé une solidification lente à la suite de laquelle il y avait séparation de graphite ; c'est à peu près ce qui se produit pour la fonte grise ; le refroidissement lent continuant, du graphite continue à se séparer (graphique, I) ; or, malgré le passage relativement lent dans les régions II et III, il en subsiste une quantité importante à la température ordinaire ; il faut donc admettre que la formation de cémentite dans ces conditions est difficile et lente, de telle sorte qu'une grande partie du graphite échappe à cette transformation dans un refroidissement qui n'est jamais très lent.

Supposons maintenant un refroidissement rapide à partir de l'état liquide ; dans une solidification rapide, le graphite n'a sans doute plus le temps de se séparer de la martensite, et il subsiste au-dessous de la température de solidification normale une solution solide sursaturée, qui traverse à cet état la région I ; ce conglomérat sans graphite arriverait ainsi à la température de formation de la cémentite, l'état de sursaturation disparaîtrait avec formation rapide de cémentite et le mélange arriverait à la température de formation de la perlite dans des conditions favorables à cette transformation : tel paraît être le processus de la formation de la fonte blanche.

Cela est appuyé par les faits qui se produisent dans le recuit de la fonte blanche ; recuite pendant quelques heures au-dessus de 1 000°, elle se transforme en fonte grise (formation

de graphite, région I), par un phénomène tout semblable à la cristallisation des solutions sursaturées. Ce procédé de recuit est employé, surtout en Amérique, pour rendre moins fragiles des objets fabriqués en fonte blanche (fonte malléable dite à cœur noir). On obtient en Europe un résultat analogue en recuisant les objets de fonte blanche vers 900° seulement, mais pendant plusieurs jours et en présence d'oxyde de fer; les phénomènes sont alors différents; le graphite qui se produit est plus fin que le graphite ordinaire des fontes; il se forme dans la région II (v. 11); de plus, une partie du carbone se diffuse vers la surface et y est brûlé [1].

25. *Influence des corps étrangers.* — Il y a toujours du silicium (jusqu'à 4 p. 100, même parfois davantage), du phosphore, du soufre, du manganèse (qui à eux trois peuvent aller jusqu'à 0,5 ou 0,6 p. 100 dans les fontes ordinaires, beaucoup plus dans certaines fontes spéciales); enfin, en proportion plus faible, un grand nombre de métaux.

Le *silicium*, malgré ses analogies avec le carbone, ne se comporte pas du tout comme lui dans le fer et ne peut nullement remplacer le carbone pour donner des aciers ou des fontes. Son rôle capital dans les fontes est de faciliter la formation de graphite; il la rend plus rapide; d'autre part il diminue la solubilité du carbone dans le fer, c'est-à-dire la teneur maximum en carbone de la martensite correspondant à une température donnée, ce qui favorise aussi la séparation du graphite; aussi, s'il y a beaucoup de silicium (3 à 4 p. 100) un refroidissement rapide donne de la fonte grise au lieu de fonte blanche.

L'*aluminium* paraît favoriser aussi la formation du graphite.

Le *soufre* a l'influence opposée; il rend la séparation du graphite plus difficile et favorise le maintien de la martensite. S'il y a beaucoup de soufre, on peut obtenir une fonte blanche dans des conditions de refroidissement lent où, en présence de peu de soufre, on aurait eu de la fonte grise.

Le *manganèse* agit dans le même sens que le soufre, mais son action n'est sensible que s'il est à forte dose (au-dessus de 1 p. 100), supérieure à celle que renferme la fonte ordinaire.

Le *chrome* et le *tungstène* semblent agir comme le manganèse, et même favoriser particulièrement le maintien de la martensite, aux détriments de la cémentite [2].

FERS ET ACIERS. — 26. *Classification.* — Il y a peu de fontes ayant moins de 2,8 p. 100 de carbone; les fers carburés ayant de 2 à 2,8 p. 100 de carbone ne paraissent pas employés et sont peu connus; au-dessous de 2 p. 100 sont les fers et aciers.

Ils sont obtenus, à partir de la fonte, par deux procédés principaux : décarburation par pudlage ou par fusion au Bessemer ou au Martin; au point de vue de la constitution des fers et aciers obtenus, ces deux procédés présentent cette différence importante qu'ils sont mis en jeu à des températures très différentes.

Dans le pudlage, le métal résultant n'est jamais fondu, même si la fonte initiale est fondue elle-même (pudlage bouillant); c'est du « métal soudé », dont les scories sont mal éliminées; son état, au point de vue des constituants, dépend de la température et de la durée du pudlage, et aussi de la vitesse du refroidissement.

Dans la fabrication au Bessemer ou au Martin, on obtient un métal qui a été complètement fondu et dont les scories sont bien éliminées; son état dépend donc seulement, pour une composition donnée, de la vitesse du refroidissement.

Par l'un et l'autre des deux procédés on peut obtenir des fers carburés ayant depuis

---

[1] V. sur la fonte malléable : H. LE CHATELIER, *Bull. de la Soc. d'Enc. p. l'Industrie nationale*, (5), t. VI, p. 548; 1900.

[2] V. sur la fonte : POURCEL, *Rev. gén. des Sciences*, p. 465; 1896.

2 p. 100 de carbone jusqu'à seulement quelques dix-millièmes ; on réserve habituellement le nom d'aciers aux produits obtenus par fusion au Bessemer ou au Martin ; au point de vue des applications, les fers pudlés s'en distinguent en ce qu'ils se soudent beaucoup plus facilement.

Tous ces fers carburés peuvent prendre la trempe ; mais la trempe n'est bonne qu'au-dessus d'une certaine teneur en carbone, qui dépend de la proportion des autres corps dans le métal, et qui peut varier de 0,3 à 0,6 p. 100 environ ; au-dessous de cette teneur, les effets de la trempe sont d'autant plus faibles qu'il y a moins de carbone.

27. Il y a encore à parler des *aciers de cémentation*, obtenus en utilisant la diffusion du carbone à haute température ; on peut partir soit du fer et le cémenter en présence du carbone, qui se diffuse dans la masse, soit de la fonte et la cémenter en présence d'oxydes qui brûlent le carbone se diffusant à mesure de l'intérieur vers la périphérie ; ces aciers de cémentation ne sont pas employés tels quels : on les rend d'abord homogènes en les fondant, de sorte qu'ils ne se distinguent pas des fers carburés obtenus par fusion ; mais l'étude de la cémentation n'en est pas moins intéressante au point de vue des propriétés des fers carburés. Toutes les particularités de la cémentation s'expliquent bien dans l'hypothèse d'une solution solide ; la proportion du carbone (dans la cémentation du fer, par exemple) augmente d'abord à la périphérie, jusqu'à une limite qui dépend de la température ; en même temps le carbone se diffuse vers l'intérieur, et atteint de proche en proche la même proportion dans les différentes couches.

28. *Aciers de coulée refroidis lentement.* — Si les aciers sont refroidis lentement lors de leur fabrication, ils sont (v. la fig. 1) formés à la température ordinaire surtout de perlite et de cémentite lorsqu'ils ont plus de 0,85 p. 100 de carbone, et de perlite et de ferrite lorsqu'ils en ont moins. C'est en effet ce qu'on constate par l'observation microscopique, et on trouve les aciers à teneur voisine de 0,85 formés seulement de perlite.

29. *Aciers refroidis rapidement.* — La transformation de la martensite est alors incomplète ; on trouve dans ces aciers, avec les éléments précédents, de la martensite.

Transformations des aciers. Trempe. Revenu. — 30. Pour interpréter les résultats, il faut tenir compte des faits suivants, mis en évidence par M. Osmond et M. Le Châtelier.

31. *Vitesse de transformation.* — Soit un mélange qui peut donner lieu à une certaine transformation. Supposons d'abord que ce mélange parte de son état stable à une température élevée, supérieure à celle de la transformation, et soit soumis au refroidissement ; la transformation commence à une température θ et devient complète à cette température supposée maintenue assez longtemps ; elle peut aussi s'accomplir si au lieu d'arrêter le refroidissement à θ, on l'arrête à une température t inférieure à θ ; elle s'accomplit même plus vite à t qu'à θ quand t est peu inférieur à θ ; la vitesse de transformation croît d'abord à à partir de θ, est maximum pour une certaine température t_m, puis décroît et arrive à être insensible à partir d'une température t'.

Supposons maintenant le même mélange pris à son état stable à une température très inférieure à θ (pour les fers carburés, ce sera à la température ordinaire) et soumis à un réchauffement ; la transformation commence à θ, et, si on maintient cette température, elle y devient complète avec une certaine vitesse ; si le réchauffement a dépassé θ et a été arrêté à une température T supérieure à θ, la transformation se produit avec une vitesse plus grande qu'à θ et d'autant plus grande que la température est plus élevée.

Ces deux variations, au-dessus et au-dessous de θ, sont une conséquence de ce fait que la vitesse de transformation est d'autant plus grande que d'une part la température actuelle est plus éloignée de la température θ où aurait lieu la transformation pour une succession

d'états stables, et d'autre part que la température est plus élevée ; les deux causes s'ajoutent au-dessus de θ et agissent en sens inverse au-dessous, d'où le maximum.

On imagine facilement ce qui se produit quand le chauffage ou le refroidissement ont lieu avec une certaine vitesse (v. 34).

Ce qui précède s'applique à la transformation des aciers : à haute température, leur état stable est la martensite, et, à basse température, l'état perlite-ferrite ou perlite-cémentite ; entre ces deux régions est une région de transformation dont le détail hypothétique pour les différentes teneurs a été exposé plus haut ; l'ensemble de la transformation a lieu pour le plus grand nombre des aciers, de 700 à 750° ; la température t'_m est de l'ordre de 600°, et t' de l'ordre de 200° (d'après M. Le Châtelier).

32. Mais supposons qu'au lieu de réchauffer l'acier à partir de son état stable à froid, on le prenne à l'état métastable auquel le donne la trempe ou simplement un refroidissement rapide à la coulée ; si on le réchauffe jusqu'à une température supérieure à 600° et qu'on le maintienne à cette température, il y prend l'état stable correspondant ; c'est ce que nous avons vu plus haut. Si on le réchauffe seulement jusqu'à une température inférieure à 600°, voici, d'après l'expérience, ce qui se passe : de 600° à 400°, il prend encore complètement l'état stable correspondant, c'est-à-dire que l'effet de la trempe est complètement détruit. Au-dessous de 400°, l'effet de la trempe n'est pas complètement détruit, et la modification subie est d'autant plus incomplète que la température est plus basse. A la température ordinaire même l'acier subit une modification lente se manifestant par une petite variation de ses propriétés, en particulier par une diminution de l'aimantation permanente ; cette modification est de plus en plus lente. Chauffé et maintenu vers 200°, l'acier métastable éprouve des variations plus rapides ; sa dureté et sa fragilité diminuent, sa résistance également ; mais ces changements s'arrêtent au bout de quelques heures. Vers 300° à 400°, changement encore plus notable et plus rapide, mais s'arrêtant encore avant que l'effet de la trempe ait disparu ; ce n'est qu'á partir de 400° que les modifications deviennent complètes.

33. Nous allons voir quelles considérations précédentes expliquent les particularités des phénomènes de transformation, de trempe et de revenu des aciers.

34. *Variation de la température à laquelle on observe la transformation.* — Soit θ la température de transformation réversible d'un acier. Si on observe la transformation à température croissant d'une manière continue, on trouve qu'elle s'effectue à une température supérieure à θ, parce qu'elle n'a pas le temps de s'effectuer complètement à θ ; plus la variation de la température est rapide, plus cet écart s'accentue, mais il n'est jamais très grand (100° au plus par exemple), parce que la transformation devient bientôt extrêmement rapide. Si on l'observe à température décroissant régulièrement, on trouve qu'elle s'effectue à une température inférieure à θ, et l'écart peut être alors plus grand que dans le cas précédent. Plus la variation de la température est lente, à la montée ou à la descente, plus la température de transformation qu'on observe se rapproche de θ.

35. *Trempe.* — On admet actuellement que le principal effet de la trempe est le maintien plus ou moins complet à la température ordinaire de l'état qui existait à haute température. A ce point de vue, la trempe est complète quand l'acier, chauffé quelque temps à une température supérieure à son point de transformation, est refroidi brusquement au-dessous de 200°, de manière qu'il franchisse rapidement la zone où la transformation est possible. L'acier est alors formé seulement de martensite. Quand les pièces sont grosses, la vitesse de refroidissement au centre peut être insuffisante pour une bonne trempe.

La durée du chauffage qui précède la trempe doit être suffisante pour que la transformation soit complète ; mais elle ne doit pas être trop grande, parce qu'il se forme alors

une structure à gros grains, qui persiste au refroidissement, d'où une grande fragilité (aciers brûlés ; nous en parlerons plus loin, à propos de la structure).

Si on chauffe longtemps à 8 ou 900° un acier à forte teneur en carbone, il s'y sépare du graphite qui peut même être en assez grande quantité pour empêcher ensuite la trempe ; j'ai déjà signalé à plusieurs reprises ce phénomène, encore mal connu.

La présence de corps étrangers peut faire varier les conditions de la transformation et et particulièrement sa vitesse. Ainsi, le chrome ou le tungstène (ou encore, en forte proportion, le manganèse), diminuent beaucoup la vitesse de transformation ; ces corps facilitent donc la trempe ; la variation de température peut être moins brusque ; s'il y a beaucoup de ces métaux, un simple refroidissement à l'air suffit pour qu'ils aient les mêmes propriétés que les aciers trempés ordinaires (aciers self-hardening, quasi trempés de M. Osmond).

Il est certain que des effets purement physiques du refroidissement brusque interviennent aussi dans la trempe ; l'intérieur de la masse est refroidi beaucoup moins vite que la périphérie, d'où des pressions et des tensions, encore bien mal connues (1).

36. *Revenu.* — On appelle aciers *revenus* ceux qui ont été trempés et dont on diminue la fragilité et l'instabilité en les réchauffant un certain temps à une température inférieure à 400° ; ce réchauffage les amène en quelques heures à un état qui se maintient ensuite à la température ordinaire, d'où des aciers bien constants. Je parlerai en détail de l'action du revenu sur les propriétés magnétiques, à propos des aimants permanents. On peut obtenir à peu près le même résultat par un refroidissement rapide depuis une température élevée jusqu'à une température de l'ordre de 200° ou 300° (trempe dite négative, dans l'huile chaude, le plomb fondu).

IV. — Structure des fers carburés

37. La structure des fers carburés dépend d'abord, évidemment, de l'état auquel s'y trouvent le fer et le carbone, c'est-à-dire de ses constituants, dont nous avons étudié les transformations. Il serait très intéressant de connaître la structure aux états stables que nous avons essayé de caractériser pour chaque température, mais cela est difficilement accessible à l'expérience ; ce qu'on peut étudier, et qui est d'ailleurs plus directement intéressant, c'est la structure à la température ordinaire. Pour la bien connaître, il faudrait savoir ce qu'elle est à l'état stable et aux états métastables dus aux différents traitements thermiques et mécaniques, et connaître l'influence des corps étrangers. Ce programme est loin d'être rempli actuellement, mais on sait cependant des choses importantes.

38. *Structure cellulaire de l'acier.* — Lorsqu'on étudie un acier au microscope, on observe, dans la plupart des cas, une carcasse de dendrites et cristallites enchevêtrées formant les parois de cellules plus ou moins irrégulières dont l'intérieur est rempli par une masse d'aspect différent, qui est le constituant dominant. C'est ce que MM. Osmond et Werth ont appelé la structure cellulaire des aciers. L'existence de ces parois séparatrices crée une discontinuité et peut provoquer des propriétés toutes différentes de celles d'une substance homogène ne comprenant que le constituant principal, même si le deuxième constituant est en faible proportion. Souvent la structure paraît plus complexe, les constituants se juxtaposant seulement en grains de formes quelconques. Enfin l'aspect est plus

(1) V. Howe, La métallurgie de l'acier, p. 20 et 32, et les travaux récents déjà cités, 19, note.

uniforme si le fer est formé presque uniquement d'un seul constituant, comme les aciers à 0,85 p. 100 formés de perlite, et les aciers trempés formés de martensite à grain fin.

Nous allons étudier d'abord la forme ordinaire des différents constituants ; ce que nous savons de leur existence et de leurs proportions dans les fers carburés nous donnera une idée générale de la structure de ceux-ci ; nous parlerons ensuite des modifications apportées à la structure par le traitement mécanique ou thermique.

STRUCTURE DES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS. — 39. *Ferrite* (considérée seule ; nous verrons ensuite son aspect dans la perlite). Quand elle constitue la partie principale de la substance (fer peu carburé soudé ou fondu), elle est en grains cristallins mais généralement mal formés, dont les dimensions sont de quelques centièmes ou quelques dixièmes de millimètre ; parfois les grains sont plus gros, les formes cubiques plus nettes (3), et on a obtenu des cristaux de plusieurs millimètres de côté.

Quand elle est en petite quantité (acier doux pas trop carburé), elle forme un réseau plus ou moins irrégulier dont les mailles sont remplies de perlite.

40. *Cémentite.* — Elle forme surtout le réseau irrégulier entourant la perlite des aciers assez carburés non trempés ; parfois elle est en plaques plus épaisses, mais on ne la trouve pas avec des formes cristallines nettes ; elle est très dure, insoluble dans les acides dilués, ce qui a permis d'obtenir, en attaquant par un acide des aciers non trempés, des grains de cémentite ; ils sont sans forme nette, magnétiques, avec une aimantation résiduelle notable, et ont des dimensions de seulement quelques millièmes de millimètre.

41. *Perlite* (cémentite + ferrite formant respectivement environ $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$) · — Elle a une structure lamellaire, striée, due à la présence de couches successives de cémentite et de ferrite, dont l'épaisseur semble constante, $0^{\mu},6$ à $0^{\mu},7$ pour la ferrite, un peu plus de $0^{\mu},3$ pour la cémentite ; quand elle constitue la presque totalité de la substance (aciers à 0,85 p. 100 environ), elle est en houppes rayonnant à partir de points irrégulièrement distribués et s'enchevêtrant ; quand il y en a moins, elle est en plaques irrégulières entourées par des carcasses de ferrite (au-dessous de 0,85) ; elle ne paraît pas former ordinairement les carcasses.

42. *Martensite.* — Elle est le constituant principal des aciers bien trempés ; elle est alors formée de grains très petits de l'ordre de 1^{μ} ou un peu plus, et la substance a un aspect homogène. Après une chauffe prolongée à haute température, elle forme des cristaux plus gros (aciers brûlés, dont nous reparlerons).

43. *Graphite.* — Le graphite des fontes grises est en lamelles assez larges, irrégulières (par exemple 1 mm de large et 10 à 20^{μ} d'épaisseur), parfois distribué uniformément, parfois en groupes rayonnants irréguliers.

44. Avec ces constituants on peut en rencontrer exceptionnellement d'autres provenant des substances autres que le fer et le carbone : c'est ainsi que les fers soudés contiennent du laitier, en masses irrégulièrement distribuées, et que les fontes, où les corps étrangers sont en forte proportion, renferment des carbures variés.

45. *Influence du traitement mécanique.* — Dans les fers carburés tels qu'ils sont obtenus les grains ont à peu près les mêmes dimensions dans tous les sens, ou du moins aucune direction n'est différenciée dans l'ensemble. Leur forme est modifiée, comme il est naturel, par le traitement mécanique, du moins à froid ou à température peu élevée (nous parlerons plus loin du traitement à chaud). Le forgeage dans une direction les aplatit, le laminage, le tréfilage les allongent et peuvent même produire leur fragmentation. Certains métallurgistes ont admis que des vibrations accentuent la cristallisation : rien de sérieux n'est venu confirmer cette opinion.

46. *Influence du traitement calorifique.* — Nous avons vu que du traitement calorifique dépendent, pour une teneur donnée en carbone, la nature et la proportion des constituants ; la structure en dépend naturellement par là même. Ce qui importe ici est de rechercher comment ce traitement modifie la disposition cellulaire.

En principe, une transformation chimique, conséquence d'une variation thermique, n'altère pas forcément la structure générale ; elle s'effectue sur la matière telle qu'elle était disposée, si elle ne nécessite pas de transport de matière, et, si un refroidissement rapide suit la transformation, il peut ne pas y avoir de modification profonde dans la structure.

Par exemple, un acier Bessemer à 0,5 p. 100, tel qu'il est obtenu, présente un réseau formé de perlite et de ferrite ; transformé en martensite par trempe à partir d'une température peu supérieure au point de transformation et maintenue peu de temps, il conserve nettement des traces du réseau.

Les moulages en fonte blanche rendue malléable par recuit vers 900° (24), et qui paraissent formés surtout de ferrite, offrent la structure lamellaire de la perlite, même alors que l'analyse montre qu'il n'y a plus assez de carbone pour en former.

Mais si, ayant produit une transformation par élévation de température, on maintient quelque temps la température élevée, la malléabilité due à cette haute température permet des modifications de structure : l'expérience montre qu'il se produit alors une cristallisation active, qui peut même altérer l'acier, et dont voici les principaux cas.

47. *Recristallisation par réchauffage après traitement mécanique.* — Les déformations des cellules produites par le travail mécanique disparaissent après un réchauffage au rouge ; ce fait ne provient pas de ce que les cristaux déformés reprennent leur forme primitive, auquel cas le morceau de métal devrait reprendre lui-même sa forme primitive, alors qu'au réchauffage la forme au contraire varie peu ; c'est une nouvelle cristallisation qui s'est produite.

Par exemple (Howe, p. 239) une barre de fer soudé est forgée à froid de manière que sa longueur soit doublée ; les grains sont alors allongés et brisés ; après un réchauffage prolongé au rouge, on a retrouvé des grains ayant mêmes dimensions dans toutes les directions.

Quand le travail mécanique est fait à haute température, on ne retrouve trace, à la température ordinaire, que de modifications dans la structure très atténuées ; parfois même il n'y a pas de modification. Des déformations ont cependant eu lieu sans aucun doute au moment où s'est exercée l'action mécanique ; mais la haute température a combattu immédiatement cet effet.

48. *Recristallisation par réchauffage de l'acier de coulée ou de l'acier trempé.* — Nous avons vu (32 et 36) que dans un acier trempé chauffé quelques temps entre 200° et 400° (revenu) s'effectue une modification incomplète vers l'état stable ; cette modification n'altère pas la structure. Il n'en est plus de même si l'acier est porté à haute température, par exemple quand on chauffe un acier de coulée ordinaire pour ensuite le tremper ; il semble que les choses se passent ainsi : s'il y a un réseau bien formé (de perlite et de ferrite ou de perlite et de cémentite), la transformation en martensite s'opère d'abord sans trop modifier la disposition cellulaire ; s'il y a déjà de la martensite, ses cellules commencent à s'étendre en absorbant les grains voisins de perlite, ferrite ou cémentite, qui se transforment ; dans l'un et l'autre cas se forme bientôt un grain assez fin en général dû à la martensite. On peut par refroidissement rapide fixer ces structures ; par refroidissement lent, cette cristallisation nouvelle serait détruite, et il se reformerait un réseau de perlite et de ferrite ou de cémentite. Mais si, la martensite étant formée, on maintient quelques temps la tempéra-

ture élevée, le grain grossit, c'est-à-dire que la cristallisation continue, et d'autant plus vite que la température est plus élevée, et un refroidissement rapide fixe ce gros grain.

Pour le fer à peu près pur se produit aussi une cristallisation à haute température, mais, alors que pour les aciers cette cristallisation n'est active qu'au-dessus de la région de transformation, pour le fer elle commence au-dessous, et est même la plus active entre 600° et 700°, c'est-à-dire au-dessous du point de transformation ; le fer prend alors un grain d'autant plus gros qu'il est chauffé plus longtemps ; par exemple, dans une chauffe à 700° environ pendant quatre heures, le grain d'un échantillon avait passé de 2 ou 3 dixièmes de millimètre à 2 ou 3 millimètres. Si un tel fer est chauffé quelques instants au-dessus de son point de transformation, il prend bientôt le grain fin qui caractérise le début de la formation de la martensite, et, si on le refroidit rapidement avant que le grain ait eu le temps de grossir, on obtient à nouveau le fer à la température ordinaire avec un grain fin.

En résumé, on voit que l'histoire thermique d'un fer carburé influe sur sa structure non seulement par suite des transformations chimiques qui en sont une conséquence, mais par ce fait que la cristallisation s'opère et continue à température élevée, indépendamment de toute transformation chimique. On peut obtenir des fers carburés renfermant les mêmes constituants en même proportion, avec des structures différentes.

49. *Fers et aciers brûlés.* — Cette recristallisation à haute température peut devenir excessive si la chauffe est trop prolongée ; le grain devient de plus en plus gros, et il persiste alors après refroidissement lent ou rapide ; la matière est devenue fragile ; on dit qu'elle est « brûlée » ; cet effet avait d'abord été mis tout entier sur le compte de l'oxydation, mais il paraît bien dû en réalité surtout à une cristallisation trop prononcée ; une oxydation simultanée peut d'ailleurs agir dans le même sens.

La modification de structure qui constitue le brûlage est difficile à faire disparaître ; on l'atténue par forgeage et réchauffage. La conséquence au point de vue pratique est qu'il ne faut maintenir que le moins longtemps possible les fers carburés à haute température ; par exemple pour la trempe on doit produire le refroidissement dès que la transformation désirée est obtenue, durée que l'expérience donne par tâtonnement.

50. *Segrégation.* — Je ne dirai que quelques mots des phénomènes suivants, de nature toute différente : si la solidification d'un fer carburé se fait lentement, il peut y avoir différence de composition et de structure aux différents points de la masse ; les éléments qui viennent de se solidifier peuvent se déplacer dans le liquide restant sous l'influence de différences de densité. A une cause analogue se rattache la structure bacillaire de pièces un peu grosses : le refroidissement et par suite la solidification s'effectuant de la périphérie vers le centre, les cristaux s'empilent en masses prismatiques normales à la surface. Ce sont là des actions différentes de celles qui se produisent dans le mélange solide.

51. Il n'entre pas dans le plan de cet article d'étudier en détail l'influence des corps autres que le fer et le carbone ; dans les aciers ordinaires, ces corps sont en proportion faible et modifient peu les propriétés ; lorsqu'ils sont en proportion importante, on a affaire en somme à des substances différentes des fers carburés, et dont les propriétés sont encore en général mal connues ; en exposant, dans un prochain article, les progrès récents dans l'étude des propriétés magnétiques, je dirai quelques mots de celles de ces substances qui sont importantes au point de vue pratique.

Ch. Maurain.

SÉPARATEUR MAGNÉTIQUE KNOWLES NEW-CENTURY

Les métallurgistes américains ont, depuis quelques années, tourné leurs regards vers certains minerais complexes jusqu'à ces derniers temps fort peu exploités par suite des

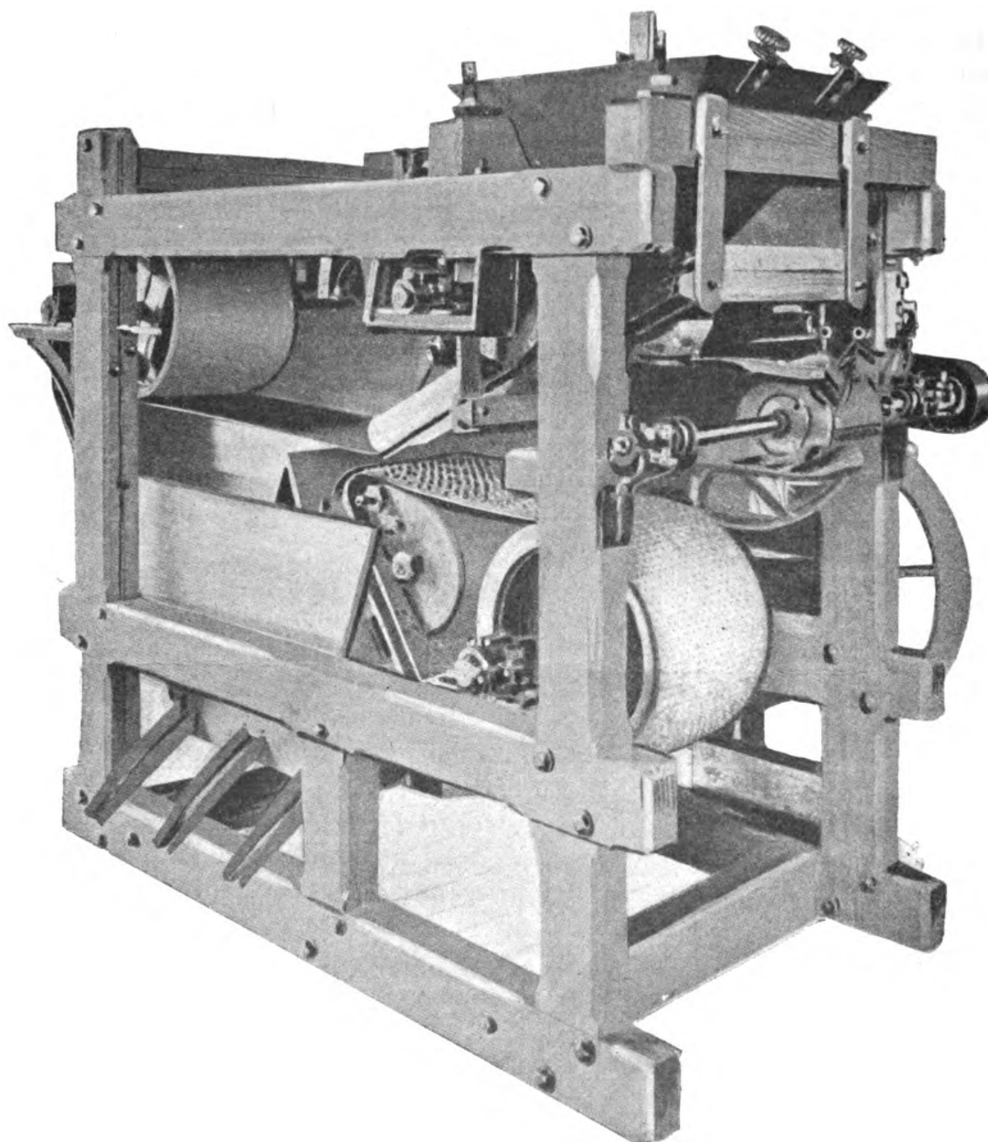


Fig. 1. — Séparateur magnétique Knowles New-Century.

difficultés nombreuses que rencontraient les propriétaires des mines pour obtenir une séparation avantageuse des différents métaux constituant ces gisements. Le lavage dans les jigs a bien permis d'obtenir quelques résultats, mais c'est à la séparation magnétique que l'on s'est adressé.

Comme traitement préliminaire, le lavage et le grillage ont été utilisés, notamment dans

le cas des mélanges de sulfures de zinc, de plomb, que l'on rencontre dans la région montagneuse de Rocky, dans le district du Wisconsin sud-occidental et dans une certaine zone du pays de Joplin, de Missouri et Kansas.

De très grands perfectionnements ont été faits dans l'utilisation du champ magnétique dans les séparateurs, en vue du traitement métallurgique, et, parmi les séparateurs actuellement en service, le trieur Knowles New Century, construit par l'American Concentrator Company, de Joplin, paraît devoir donner un rendement économique.

Il mérite une description détaillée, au point de vue des dispositions prises pour son fonctionnement régulier et automatique.

Le schéma (fig. 2) donne une idée nette de ce séparateur : A et B sont les pièces

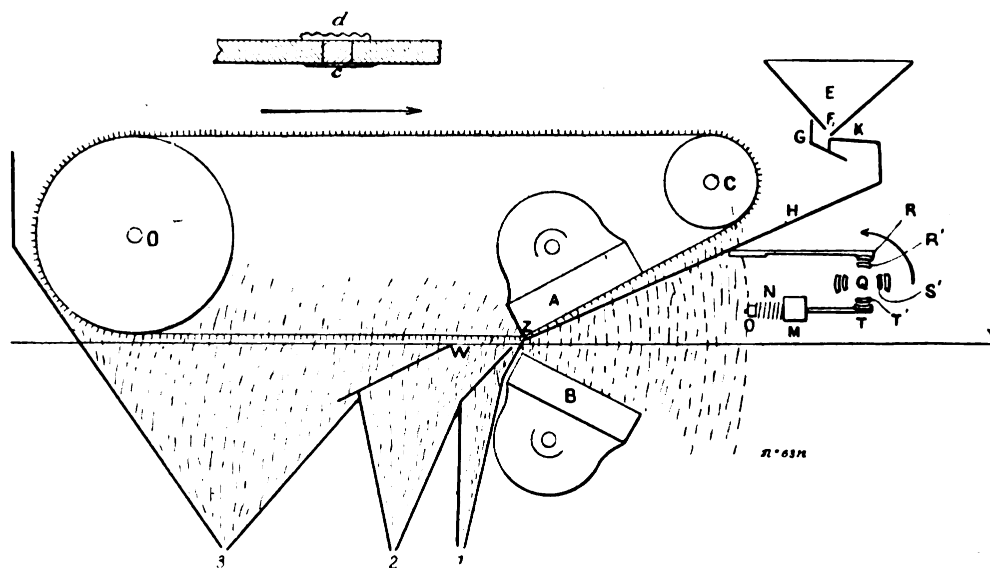


Fig. 2.

polaires en acier fondu ayant leurs faces inférieures planes, inclinées l'une sur l'autre et de polarité contraire.

C et D, tambours en bois, autour desquels se meut, dans le sens de la flèche, une courroie spéciale. Cette courroie porte d'un bout à l'autre, sur la face qui est en contact avec les tambours, des rivets en acier doux.

Une contre-rivure *d*, avec ses bords relevés dentelés, est faite à l'extrémité des rivets qui font saillie à l'extérieur, sur toute la longueur de la courroie, et qui sont rivetés par le bas. Il y a environ 300 rivets par chaque 0,0939 m².

E trémie pour l'alimentation automatique du minerai provenant d'un magasin situé au-dessus du séparateur.

G est une auge à secousse, placée au-dessous de l'orifice du fond de la trémie réglé par la planchette F. On obtient ainsi une distribution uniforme sur le fond du châssis à secousses H, lequel est suspendu par des tiges de ressorts en chêne et s'étend entièrement au-dessous de la face plane de l'aimant supérieur A. Il finit en Z, point où les deux pièces polaires se trouvent le plus rapprochées l'une de l'autre. Il se tient en tout point au-dessus de la ligne neutre XY.

Q est un arbre horizontal sur lequel est claveté un disque avec quatre pièces polaires S', à l'intérieur desquelles, et tournant avec l'arbre, est placée une bobine de fil de cuivre.

Concentriquement, mais non claveté à l'arbre, se trouve un autre disque avec quatre pièces polaires extérieures R et T'. L'arbre tourne dans le sens de la flèche et le courant électrique parvient à la bobine au moyen de bagues fixées sur l'arbre.

Il est à remarquer que les pièces polaires extérieures ont une tendance à tourner avec les pièces polaires intérieures dans le sens de la flèche, par le fait que l'appareil devient un aimant rotatif, quand il est excité électriquement; les pièces polaires, naturellement, se suivant l'une après l'autre, tourneraient ainsi indéfiniment s'il ne se présentait une résistance qui provient du mouvement saccadé fourni au châssis d'alimentation H. La pièce polaire supérieure R est réunie par une étroite pièce de chêne et attachée à la partie inférieure du châssis à secousses H. La pièce polaire inférieure opposée à R, c'est-à-dire T, a, attachée à elle, une tige fixée dans une traverse fixe M, avec un ressort en spirale N muni d'un écrou qui permet d'en régler la tension.

Quand l'arbre Q, avec ses quatre pièces polaires intérieures, tourne dans le sens de la flèche, les pièces polaires extérieures suivent le même mouvement, poussant le châssis à secousses contre la machine, jusqu'à ce que la compression du ressort N soit plus grande que la force due à l'attraction des pièces polaires intérieures par les pièces polaires extérieures. A cet instant, celles-ci reviennent rapidement en arrière, dans la direction opposée à celle de la flèche, jusqu'à ce que la pièce polaire R rencontre S quand elle aura été ramenée de nouveau en avant et cela quatre fois durant chaque révolution. Le châssis à secousses reçoit ainsi un mouvement lent en avant et un rapide en arrière. La bobine magnétique dans l'aimant rotatif est mise en série avec la bobine de l'aimant principal excitant les pièces polaires A et B.

Pour arrêter l'alimentation, il suffit d'abaisser la planchette et, s'il arrivait un accident à la dynamo ou dans l'enroulement des fils de l'aimant principal, de sorte que les pièces polaires ne soient plus excitées et ne donnent pas une séparation complète, l'alimentation s'arrête sur le champ d'une façon automatique.

Au moyen de la lame K formant liaison, l'auge G possède le même mouvement à secousses que le châssis d'alimentation H.

Quand le courant électrique parcourt les bobines des aimants principaux, l'on remplit la trémie d'alimentation A avec le mélange de minerai à séparer. Les lignes de force comprises entre les deux pièces polaires, suivant les lois bien connues du magnétisme, seront très condensées au point Z, et l'intensité décroîtra dans chaque direction à partir de ce point, c'est-à-dire que lorsque le minerai descend sur le châssis d'alimentation H, il pénètre dans un champ magnétique croissant graduellement d'intensité, et toujours ainsi jusqu'à ce qu'il arrive au point Z, où le champ possède son intensité maxima.

La courroie portant les rivets en acier doux et se mouvant dans le sens de la flèche, à une vitesse de 61 m à la minute, vient en contact avec la face inférieure de la pièce polaire A; un rouleau, ingénieusement lubrifié, se trouve en Z pour empêcher l'usure excessive qui résulterait de l'angle fait par la courroie avec l'horizon, lorsque celle-ci se dirige vers le tambour D.

Lorsque les rivets en acier de la courroie approchent des pièces polaires A et B et subissent l'influence des lignes de force émanant de l'aimant, ils deviennent induits et constituent des aimants secondaires. La partie fortement magnétique du mélange de minerai descendant sur le châssis à secousses H abandonne celui-ci, malgré son poids, et s'attache aux extrémités dentelées *d* des rivets, et, comme la partie magnétique tombe de la trémie et arrive en un point où l'intensité du champ est suffisante pour la soulever, les particules s'attachent instantanément aux aimants induits, les particules de moindre susceptibilité

magnétique n'étant pas attirées jusqu'à ce que le point Z soit atteint, la portion non magnétique restant dans le châssis H tombe à l'extrémité de celui-ci au point Z, dans le premier compartiment, et où il est extrait par la manche 1.

Les minerais moyens ou particules présentant une légère susceptibilité magnétique seront les premiers à se détacher des aimants induits, car ils entrent à partir de Z dans un champ dont l'intensité décroît graduellement et ils tomberont dans le second compartiment et, de là, par l'ouverture 2.

Les particules d'une très grande susceptibilité resteront attachées aux aimants induits de la courroie et ne s'en détacheront complètement que lorsqu'ils s'éloigneront de Z suffisamment pour perdre leur induction et être démagnétisés.

La distance entre Z et le tambour D est d'environ 1,10 m, et sur toute cette longueur le minerai magnétique s'écoule de la courroie en une fine pluie.

On ne se sert d'aucune brosse au tambour D pour détacher les parties magnétiques de la courroie. La division W peut être changée à volonté, selon que l'on désire plus ou moins de minerais moyens.

La capacité de ce séparateur dépend naturellement de la largeur de la courroie, et ses trieurs sont faites avec des courroies d'une largeur de 0,30 m à 0,90 m, et ils peuvent traiter avec succès, par 0,025 m de courroie et par heure, de 22 tonnes à 27 tonnes, suivant le caractère du minerai à séparer.

Léonce Fabre.
Ingénieur-chimiste, licencié ès sciences, Marseille.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ÉLECTROCHIMIE

Expériences industrielles de fonte de minerais de cuivre au four électrique, par **Ch. Vattier**. Communication faite à la séance du 19 juin 1903 de la Société des Ingénieurs civils de France; *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* de juillet 1903, p. 19-30.

Chargé, par le Gouvernement chilien d'une mission en Europe et aux Etats-Unis pour y étudier les nouveaux procédés électrométallurgiques, l'auteur a profité de son séjour en France pour y effectuer des expériences industrielles de fonte de minerais de cuivre, de fer et de manganèse provenant du Chili.

Les premières expériences sur des minerais de cuivre furent faites, en septembre, sur une assez grande échelle, à l'usine de « La Praz » (Modane), sous la direction de M. Héroult et en présence de plusieurs métallurgistes.

Les résultats furent des plus satisfaisants, tant au point de vue des conditions industrielles et économiques réalisées qu'au point de vue de la production de mattes de cuivre d'un titre suffisamment élevé et de scories de rejet ne contenant plus qu'une quantité insignifiante de cuivre.

Avec deux électrodes en charbon, de section carrée de 0,25 m, plongeant au milieu du minerai dans un creuset rectangulaire en briques et brasque, en marchant à une allure de 3 500 à 4 000 ampères et environ 110 volts, on est arrivé, à fondre environ 18 tonnes de minerais de cuivre (d'un titre de 7 p. 100 Cu) par vingt-quatre heures, en produisant des mattes de 43 à 45 p. 100 de cuivre et des scories de 0,1 à 0,2 p. 100 de cuivre.

Les conditions pratiques de la facile séparation ou décantation des mattes et scories présentèrent alors quelques difficultés, qui depuis ont disparu.

Quelques mois plus tard, de nouvelles études sur le même sujet furent faites, dans l'usine de MM. Keller et Leleux, sous la direction de M. Keller, à l'usine de Kerousse, en Bretagne.

C'est là que furent arrêtées les forme et marche définitives des fours et appareils accessoires qui, plus tard et à plusieurs reprises ont fonctionné, d'une façon parfaite, à la grande usine électro-métallurgique louée par MM. Keller et Leleux, à Livet, près Grenoble. Une première série d'expériences, réalisées dans des proportions vraiment industrielles et dans des fours tels que ceux qui seront adoptés dans les futures usines, avait prouvé que, pour les minerais de cuivre, le problème était complètement résolu.

Le 21 avril dernier, ces mêmes expériences furent faites à Livet sur diverses espèces de minerais de cuivre, provenant du Chili, devant une Commission composée de plusieurs ingénieurs étrangers et français [1].

Quant au but de ces expériences, M. Vattier l'expose ainsi :

« Tout le monde sait que, généralement, dans la métallurgie du cuivre par la voie sèche, soit dans des fours à réverbère, soit dans des fours à manche, on transforme d'abord, avec de la houille ou du coke, les minerais de cuivre en mattes de cuivre d'un titre variable entre 40 et 50 p. 100, et qu'ensuite ces mattes sont soumises, soit à des grillages avec refonte, soit au traitement spécial des convertisseurs ou sélecteurs, ou aux fours à réacteur Thofern et Saint-Seine, etc., pour être transformées en barres de cuivre que l'on raffine dans des fours ou qu'on soumet à l'électrolyse pour en retirer du cuivre électrolytique et en séparer l'or et l'argent.

» Pour le moment, notre but est uniquement de supprimer la dépense de la *houille noire* (coke, houille ou charbon de bois) qu'on emploie pour la fonte du minerai jusqu'à la *matte*, et de remplacer les *calories* produites par la *houille noire* par des calories électriques produites par la *houille blanche*, c'est-à-dire par des forces hydrauliques.

» Une fois cette *matte* obtenue, nous la livrons aux appareils actuellement employés en métallurgie (convertisseurs, sélecteurs, réacteurs, etc.), et c'est tout au plus si nous demandons à l'électricité de nous prêter son concours pour achever les réactions, là où des électrodes peuvent encore nous fournir les calories nécessaires.

» En un mot, nous cherchons surtout à appliquer ces procédés là où le charbon est cher et où on peut se procurer, dans de bonnes conditions économiques, de puissantes forces hydrauliques, et c'est la différence entre le coût de la *houille noire* et celui de la *houille blanche* qui constituera le principal bénéfice que feront réaliser ces nouveaux procédés. »

M. Vattier passe alors à la description des expériences et de leurs résultats :

Minerais. — On a opéré sur deux classes de minerais :

1° Minerais de cuivre provenant de la mine du

---

[1] Voici le procès-verbal rédigé à cette occasion :

« Cette expérience a été effectuée à l'usine de la Compagnie Electro-thermique Keller, Leleux et Cie, à Livet, le 21 avril 1903, en présence de : MM. Stead, ingénieur métallurgiste, à Middlesbrough; Allen, ingénieur métallurgiste, à Middlesbrough; Reynolds, ingénieur métallurgiste, à Londres; Pirie, M.-P., de Londres; Saladin, ingénieur en chef du Creusot; Vattier, ingénieur chargé de mission par le gouvernement du Chili; de la Bouglise, ingénieur des mines, Paris; Renevey, ingénieur à Paris; Bougère, banquier à Angers.

» Les expériences ont été dirigées par M. A. Keller, ingénieur, directeur technique de la Compagnie Electro-thermique Keller, Leleux et Cie.

» Le traitement a été effectué avec le four électrique double, système Keller.

» *Minerais.* — Composés de minerais :

Du Volcan, Magnère, Charlin } en proportions indiquées par M. Vattier.

» Il a été fondu 8 000 kg de mélange en huit heures de fonctionnement.

» *Puissance.* — Elle a été de :

$$\underset{\text{ampères}}{4750} \times \underset{\text{volts}}{119} \times \underset{\cos\varphi}{0{,}9} = 300 \text{ kilowatts.}$$

» *Fonctionnement.* — Tout à fait normal.

» *Consommation d'électrodes.* — Les électrodes employées étaient de mauvaise qualité ; malgré cela, l'usure relevée a été en longueur de 6 à 7 kg par tonne de minerai.

» M. Keller fait remarquer que dans des expériences précédentes, avec une qualité un peu meilleure, il avait obtenu une consommation de 5 kg maximum par tonne de minerai, et qu'avec l'emploi d'électrodes en graphite, la consommation serait plus réduite encore.

» *Produits obtenus.* — La matte et les scories ont été coulées séparément; les analyses ont été faites et ont donné :

Mattes	Cu = 43 p. 100
Scories	Cu = 0,1 »

Signé : C. Vattier, A. Allen, E. Stead, A. Reynolds, Renevey, D.-V. Pirie, de la Bouglise, G. Bougère, A. Keller.

« Volcan » (Chili) de M. Gregorio Donoso.

Le titre en cuivre était d'environ 7 p. 100, sous forme de sulfure jaune de cuivre.

Ce minerai contient de 8 à 9 p. 100 de soufre et sa gangue se compose de silicates, silice, un peu de carbonate de calcium et surtout d'oxyde de fer micacé ;

2° Minerais de cuivre provenant de centres miniers voisins de Santiago (Chili), mélangés avec un peu d'oxyde de manganèse (du Chili) et de chaux.

La composition du lit de fusion était la suivante :

Acide carbonique	4,310	p. 100
Silice	23,700	»
Alumine	4	»
Chaux	7,300	»
Magnésie	0,33	»
Fer	28,5	»
Manganèse	7,640	»
Soufre	4,125	»
Phosphore	0,046	»
Cuivre	5,100	»
Arsenic	traces.	

Ces minerais étaient, partie en morceaux assez volumineux, et partie en poudre.

On chargeait indifféremment à la pelle dans le creuset les morceaux, comme les menus et les poussières, sans avoir à éprouver les inconvénients qui résultent de la présence des *fins* dans les fours à manche. Toutes les charges passées étaient soigneusement pesées et échantillonnées et on tenait un compte précis de la durée des diverses phases des expériences.

Des blocs assez volumineux et réfractaires, après un mouvement giratoire prononcé, ne tardaient pas à être dissous dans le lit de fusion.

Fours. — Le four proprement dit, de *première fusion* ou de *dislocation* des molécules par la chaleur, se compose d'un creuset rectangulaire en briques réfractaires dont les dimensions sont :

Longueur = 1,800 m; largeur = 0,90 m; hauteur = 0,90 m.

En dessous de ce creuset se trouve l'*avant-creuset* destiné à permettre la séparation bien nette de la matte et de la scorie ; cet *avant-creuset* a comme dimensions :

Longueur = 1,20 m ; largeur = 0,60 m ; hauteur = 0,60 m.

Des orifices qu'on peut boucher à volonté par de petits tampons d'argile sont ménagés au fond du creuset supérieur, dont les produits s'écoulent à volonté par un petit canal dans l'*avant-creuset* inférieur.

Dans le creuset supérieur plongent à volonté, ou sont amenés au ras du bain, deux électrodes en charbon d'une section carrée de 0,30 m de côté et de 1,70 m de longueur.

Dans l'avant-creuset pénètrent deux électrodes *réchauffeurs* de 0,25 m de côté.

Des orifices ménagés à divers niveaux de l'avant-creuset et débouchés au moyen d'un fleuret en acier, muni d'un bouton mobile pour recevoir le choc du marteau, permettent à volonté de faire écouler, soit les scories dans des rigoles en sable, soit les mattes dans des lingotières en acier, mues par un treuil roulant sur un pont situé à la partie supérieure de l'atelier. Des voltmètres et ampèremètres permettent de régler et préciser les intensités des courants.

On a marché avec courant alternatif.

Une combinaison spéciale permet à volonté d'élever et d'abaisser facilement et séparément chacune des électrodes.

Marche des opérations. — On descend les deux grandes électrodes dans le creuset supérieur et on établit le courant en mettant quelques charbons et petits morceaux de matte au fond de ce creuset, dont on élève graduellement la température.

Les minerais sont élevés, par un treuil, sur une plate-forme supérieure et sont chargés autour des électrodes, lesquelles sont élevées à mesure que la charge augmente.

La fusion commence rapidement et quand le creuset est plein de matières fondues et semi-fondues, on débouche au fleuret un orifice situé à environ 0,10 m du fond du creuset.

Le liquide, plus ou moins pâteux (au bout de quelque temps très fluide) s'écoule dans l'avant-creuset où les réactions s'achèvent, et on facilite la fin de ces réactions et la séparation des liquides au moyen des électrodes réchauffeurs.

Quand cet avant-creuset est à peu près plein, on fait écouler les scories par un des orifices supérieurs, et, quand on voit que la matte occupe un espace suffisant, on fait écouler cette matte par un orifice inférieur. On procède ainsi par *cuvées* successives tant dans le creuset supérieur que dans l'avant-creuset.

Eléments de la marche et de la production. —

Avec ce four on peut fondre pour *mattes* environ 25 tonnes de minerais par vingt-quatre heures.

On a marché avec : ampères = 4 750, volts = 119, cos φ = 0,9, ce qui correspond à 500 kilowatts ou 680 chevaux.

Ainsi, par exemple, pour fondre 100 tonnes de minerais par vingt-quatre heures, il faudra disposer, aux dynamos, d'une puissance de 2 833 chevaux, mettons : 3 000 chevaux.

Produits obtenus. — On a recueilli des mattes dont l'analyse a donné :

Silice	0,800	p. 100
Alumine	0,500	»
Fer	24.300	»
Manganèse	1,400	»
Soufre	22,960	»
Phosphore	0,005	»
Cuivre	47.900	»

et des scories de la composition suivante :

Silice (SiO^2)	27,2	p. 100
Alumine	5,2	»
Chaux	9.9	»
Magnésie	0.390	»
Fer	32.500	»
Manganèse	8,230	»
Soufre	0,570	»
Phosphore	0,062	»
Cuivre	0,100	»

Les premières et dernières scories donnent généralement un titre un peu plus élevé en cuivre.

On pourrait aussi tirer un bon parti des scories, à cause de leurs titres en fer et silice pour fabriquer du ferro-silicium, en faisant directement écouler ces scories dans un creuset spécial et les soumettant *de suite*, afin de profiter de leurs calories acquises, à une haute température dans un four électrique spécial.

Ces mêmes scories, chargées d'éléments manganésifères, pourraient ainsi être transformées en *ferro-manganèse* et *spiegels*.

Observations. — Pendant la marche des opérations, il convient d'arriver, au moyen d'un voltage suffisant, à faire passer l'arc ou courant électrique entre les deux électrodes, en maintenant ces derniers au ras du bain, afin d'éviter autant que possible leur contact avec ce bain. En effet, le charbon, à ces hautes températures, tend à réduire l'oxyde de fer en fer métallique, ce qui a les inconvénients suivants :

1° Usure plus rapide des électrodes;

2° Dépense d'énergie électrique supplémentaire et inutile;

3° Abaissement du titre en cuivre des mattes.

Avec des électrodes en graphite d'Acheson, cet inconvénient sera moindre.

Il est évident que dans le four à arc de Stassano, agissant par réverbération avec les électrodes complètement en dehors du bain, ce danger disparaîtrait, et c'est l'expérience qui, seule, pourra décider la question.

Comparaison entre les anciens procédés métallurgiques du cuivre et ceux de l'électrométallurgie. — L'auteur s'exprime ainsi :

« Prenons le cas d'une mine de cuivre située dans l'Amérique du Sud, au Chili, par exemple, à une assez grande distance de la côte, au pied de la Cordillère, comme le « Volcan » (d'où proviennent les minerais soumis aux expériences), c'est-à-dire là où le coke vaut au moins 100 fr la tonne et où, à cause de la pente du terrain et de la situation locale, on peut se procurer une puissante force hydraulique, constante et économique.

» Rapportons les chiffres comparatifs à une tonne de cuivre en barres qu'on retirera de ces minerais du « Volcan » d'un titre en cuivre d'environ 7 p. 100, titre relativement assez élevé et qui, on doit le reconnaître, est supérieur à la moyenne de ce qu'il faut compter pour des exploitations sur une grande échelle.

» Pour produire une tonne de cuivre, il faudra fondre environ 16 tonnes de ces minerais, et laissant les mêmes facteurs relatifs à l'exploitation du minerai et transformation des mattes, étudions les éléments comparatifs des deux solutions :

» 1° Dans les fours à manche actuels au coke, pour produire cette tonne de cuivre dans des mattes, il faudra : 3 200 kg de coke à 100 fr la tonne, c'est-à-dire une dépense de 320 fr.

» 2° Dans les fours électriques, la fonte de 16 tonnes de minerais exigera une énergie de 1,25 kilowatt-an, et, comme il faut compter, dans cette région, le kilowatt-an à raison de 30 fr, la dépense d'énergie sera de 1,25 kilowatt $\times$ 30 = 37,50 fr, mettons : 38 fr. La dépense en électrodes constatée par l'expérience a été de 75 kg par tonne de cuivre contenue dans les mattes (cette dépense peut être de beaucoup

réduite par le dispositif des électrodes dont j'ai parlé et surtout par l'emploi d'électrodes de graphite), de sorte qu'il faut compter sur une dépense actuelle de 45 fr pour cette usure d'électrodes.

» En un mot, le procédé électro-métallurgique pour la fonte des 16 tonnes de minerais introduira une dépense de :

$$38 + 45 = 83 \text{ fr},$$

et l'économie sur le procédé des fours à manche, pour ces facteurs principaux des calories, sera, par tonne de cuivre :

$$320 - 83 = 237 \text{ fr, ou plus de } £\ 9.$$

» Les autres avantages introduits par l'emploi des fours électriques, de grande importance au point de vue pratique, sont les suivants :

» 1° Suppression des ventilateurs, indispensables dans les fours à manche ;

» 2° Possibilité, avec l'électricité, de fondre des lits de fusion beaucoup plus réfractaires que ceux passés aux fours à manche ;

» 3° Suppression de la confection des briquettes ou agglomération des menus et poussières ;

» 4° Réduction de la main-d'œuvre ;

» 5° Suppression des *accrochages*, si fréquents et si coûteux qui se produisent dans les fours à manche et suppression, également, des *engorgements* des creusets.

» Maintenant, si nous prenons des minerais de cuivre de 4 p. 100, nous voyons que, pour concentrer une tonne de cuivre dans les mattes, il faudra :

» 1° Dans les fours à manche, une dépense supplémentaire en coke de : $\frac{100}{1000} \times (5\,000 - 3\,200) = 180$ fr ;

» 2° Dans les fours électriques, au lieu de 1,25 kilowatt-an, il faudra 2 kilowatts-an ou simplement une dépense supplémentaire de :

$$30 \text{ fr} \times (2 \text{ kilowatts-an} - 1{,}25 \text{ kilowatt-an}) = 22{,}50 \text{ fr},$$

c'est-à-dire une économie supplémentaire de 157,50 fr, chiffre relativement considérable pour un minerai de bas titre.

» Naturellement il est impossible de fixer un chiffre moyen représentant l'économie qu'on réalisera pour chaque tonne de cuivre contenue dans des mattes... Cela dépendra des titres des minerais et surtout des conditions locales, mais je ne crois pas exagéré le chiffre probable de £ 10, comme moyenne de l'économie réalisée par tonne de cuivre pour le traitement des minerais de cuivre de l'Amérique du Sud, dans des mines situées loin de la côte et à proximité de puissantes et constantes chutes hydrauliques. »

Procédé de Salguès pour le traitement au four électrique des minerais de zinc en vue de la préparation du zinc métallique et du blanc de zinc, par **A. Salguès**. Communication faite à la séance du 3 juillet 1903, de la Société des Ingénieurs civils de France. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* de juillet, p. 64-85.

Dans cette communication, l'auteur rappelle succinctement le procédé chimique aujourd'hui employé pour l'extraction du zinc de ses minerais, puis signale les diverses améliorations que l'on a essayé d'apporter à ce procédé et enfin donne une description minutieuse du procédé qu'il a imaginé et qui est appliqué à l'usine électrochimique de Crampagna (Ariège).

I. Méthode actuellement pratiquée. — La métallurgie du zinc se pratique encore aujourd'hui par distillation en cornues ou petits tubes réfractaires, de la même manière qu'il est décrit dans les ouvrages classiques.

Le traitement consiste à chauffer progressivement, et par petites charges isolées successives, des minerais de zinc exclusivement oxydés et du charbon, jusqu'à la température de volatilisation du zinc.

Le charbon réduit ZnO et $ZnOSiO^2$ en donnant CO, lequel réduit lui-même ZnO en donnant CO^2, qui retourne aussitôt en CO par l'action du charbon en excès.

Il se dégage d'abord du CO presque pur. Étant formé à température relativement basse, ce CO n'entraîne pas de vapeurs métalliques et brûle avec flamme bleue à sa sortie des cornues. C'est la caractéristique de cette première période de la réaction.

Puis, la température s'élevant, les impuretés volatilisables se dégagent en même temps que quelques vapeurs de zinc, dont l'entraînement a lieu par le CO bien que la température n'atteigne cependant pas encore celle de son ébullition.

Durant cette seconde période, qui est épurante, la flamme se colore peu à peu de vert et

les vapeurs entraînées, diluées qu'elles sont dans un gros volume de CO, se condensent en poussière, qui se dépose surtout dans les allonges réfrigérantes des vases distillatoires.

Enfin, la température atteint 930°, température de distillation du zinc. Alors celui-ci se dégage abondamment en vapeurs très peu diluées de CO, car la réduction des minerais est presque achevée. Leur concentration étant ainsi suffisante, ces vapeurs se condensent en gouttelettes liquides dans le récipient du vase distillatoire, récipient qui est disposé pour être à ce moment à une température supérieure à celle de la fusion du zinc (412°). On y recueille ainsi du zinc fondu, qui est le métal brut. C'est la troisième et dernière période.

Une fois le dégagement terminé, on récolte les produits, on extrait les résidus et on recharge les cornues, etc., pour recommencer le travail indéfiniment.

Les produits obtenus sont : dans le récipient, du zinc métallique liquide ; dans le condenseur, une poussière métallique de zinc chargée d'impuretés et notablement oxydée, surtout par contact de l'air. Cette poussière est redistillée en général comme un minerai riche.

Les résidus sont formés par la gangue du minerai épuisé, par le peu de minerai resté inépuisé et par du carbone introduit systématiquement en excès, notamment pour empêcher la masse de fondre. Sa fusion serait en effet ruineuse pour la conservation des vases distillatoires.

Il reste toujours, dans ces résidus, une proportion du zinc chargé qui constitue la perte inhérente à cette méthode de travail. Cette perte descend exceptionnellement à 10 p. 100 quand on traite des minerais riches. Elle monte à 25 p. 100 et davantage quand les minerais sont relativement pauvres. Les minerais réellement pauvres subissent de ce chef une dépréciation énorme et sont même délaissés.

II. Recherche d'amélioration du traitement ancien. — On a d'abord essayé le four à cuve, avec la pensée qu'il donnerait, soit du zinc coulé sous laitiers, soit des vapeurs métalliques condensables. Il n'est venu ni l'un ni l'autre. Les vapeurs se sont condensées sous forme de poussières de Zn très oxydé par CO^2 qui ne sont que des minerais enrichis.

On a songé alors à travailler sous pression pour reculer la température de volatilisation du zinc, et pouvoir le couler sous scories à la façon du plomb dans les fours à cuves, mais cela n'a pu être pratiqué.

Puis, on a tenté les procédés électriques. L'électrothermie, c'est-à-dire le chauffage électrique, a été essayé notamment par Cowles, puis par Siemens et Halske, etc. ; mais les difficultés toutes spéciales qu'on y rencontre, et dont il sera question tout à l'heure, ont laissé ces recherches infructueuses jusqu'à présent.

L'électrolyse a surtout attiré l'attention. On a essayé d'électrolyser les matières zincifères, soit en solution aqueuse, soit en fusion ignée. A part certains cas spéciaux, notamment le procédé Hœpfner, qui traite des solutions aqueuses de chlorure de zinc en vue d'obtenir du zinc très pur et du chlore, et qui est, à proprement parler, plutôt un procédé chimique de fabrication du chlore, avec le zinc raffiné comme sous-produit, qu'un procédé métallurgique généralisable pour le traitement des minerais de zinc, à part, disons-nous, ces cas spéciaux, les tentatives électrolytiques ont toutes avorté. Cela tient à ce que l'électrolyse ne peut se faire qu'à la condition d'employer des matières premières pures, ou bien d'épurer économiquement les bains électrolytiques à mesure de leur pollution par l'alimentation en minerais neufs, toujours impurs. L'électrolyse en elle-même va fort bien tant que les bains sont neufs, propres, et c'est ce qui donne un si décevant encouragement à ces procédés ; mais ensuite l'entretien économique des électrolytes en bon état devient une difficulté croissante, finalement insurmontable.

III. Procédé Salgués. — *Principe.* — Ce procédé consiste en ceci :

Dans un four électrique clos et étanche, les minerais de zinc oxydés ou sulfurés, additionnés des fondants appropriés à leur composition, sont fondus et mis en réaction entre eux et avec des matières complémentaires telles que carbone, fer, etc. Il en résulte la formation d'une scorie pratiquement dépouillée de zinc qui est coulée et rejetée, et la mise en liberté pour ainsi dire intégrale du métal, qui coule ou se volatilise suivant les conditions du travail. S'il coule, il est recueilli avec les scories. S'il est volatilisé, ses vapeurs sont recueillies à l'état métallique dans un condenseur, ou bien elles peuvent être brûlées et être utilisées ainsi direc-

tement pour la fabrication du blanc de zinc Le principe du procédé Salguès est donc des plus simples. Mais, dit l'auteur, « on verra par la suite pourquoi ce procédé, si simple en principe, a été si tardif à venir. C'est qu'il comporte des exigences dont l'oubli d'une seule peut entraver la marche régulière des opérations. Elles concernent surtout la fixation des conditions électriques et chimiques convenant à chaque minerai et à chaque type de marche, et aussi la construction du matériel dont l'étanchéité et la sécurité sont essentielles pour le maniement des vapeurs métalliques ».

Avantages de l'emploi du four électrique. — Dans l'exposé succinct qui a été fait plus haut de la méthode métallurgique courante, il a été signalé que, seuls, pouvaient y être utilisés les minerais oxydés de zinc et qu'une partie du métal y était perdue.

Cetté perte est causée surtout par le défaut de scorification des résidus. Quand les matières sont fondues, le contact étant intime, les minerais quels qu'ils soient sont épuisés : les silicates sont réduits par le carbone solide. Le sulfure de zinc lui-même entre en réaction, tant avec l'oxyde de zinc, qu'avec la chaux en excès des silicates basiques, en donnant, avec cette dernière, du sulfure de calcium qui s'élimine par coulée dans la masse des scories. En outre, le fer, le manganèse, etc., peuvent être produits au sein des scories et y déplacer le zinc qui se volatilise. La scorification apparaît ainsi comme une condition essentielle du bon traitement des minerais de zinc.

Or, le four électrique se prête très bien à cette fusion.

Mieux que tout autre moyen, il permet de régler à volonté la composition des scories, car la question de leur fusibilité devient secondaire du moment qu'il est loisible d'en élever la température à tel degré que l'on veut.

La source de chaleur y étant intérieure, la question des vases, si grave avec le chauffage extérieur, disparaît totalement.

Il n'est même plus besoin de se préoccuper de la corrosion des parois, car on peut les rafraîchir. On y pratique ainsi sans crainte des compositions de scories si corrosives (acides ou basiques, fluorées, etc.) que dans des fours métallurgiques ordinaires, il en résulterait des frais d'entretien prohibitifs.

On peut, d'ailleurs, y abaisser par contre la température de réaction au degré que l'on veut; il suffit d'y travailler en résistance et non en arc, et de régler la composition des scories pour qu'elles soient bien liquides à la température choisie.

Résultats chimiques. — On comprend que, dans ces conditions, l'on puisse utiliser avec succès le four électrique pour réaliser toutes les réactions précitées d'épuisement avec des minerais quelconques de zinc. M. Salguès y emploie indifféremment les oxydes résultant du grillage des blendes, les calamines carbonatées crues ou calcinées, les calamines silicatées, les blendes crues, les minerais mixtes plombeux, etc. Cela n'offre pas plus de difficulté que l'alimentation si élastique du four à cuve pour plomb. Tous ces minerais se chargent simplement concassés à la grosseur d'un sable grossier.

Les scories que l'on obtient sont si profondément épuisées qu'elles peuvent ne plus contenir du tout de zinc, et qu'en marche courante elles ne titrent pas plus de 1 p. 100 de zinc. Avec des minerais de richesse ordinaire, c'est-à-dire de 40 à 50 p. 100, la perte de métal par l'évacuation des scories se limite dès lors vers 2 à 3 p. 100 environ du zinc total introduit dans le four.

Avec des minerais très pauvres, la quantité proportionnelle de scories est plus grande et il y a donc perte plus grande, mais le rendement chimique ne descend cependant guère au-dessous de 90 p. 100.

En d'autres termes, la perte par les résidus est réduite à moins de la moitié de ce qu'elle est avec le procédé ancien.

Production du zinc poussière. — Le four électrique, par le chauffage qu'il produit brusquement et directement au sein de la matière à traiter, ne se prête pas à un traitement progressif des minerais en trois périodes, telles qu'elles ont été décrites au début. Les réactions des parties successives de la charge s'entrecroisent et donnent lieu à un fonctionnement continu. Or cette particularité a une profonde influence sur la qualité du produit. Le zinc, au lieu de distiller presque seul, se dégage mélangé toujours d'une quantité considérable de gaz résiduels, principalement formés d'oxyde de carbone.

Théoriquement, en traitant de l'oxyde de zinc pur, le mélange comporte un volume de Zn pour deux volumes de CO.

Or, avec un tel mélange, pour réaliser la condensation du zinc sous forme liquide, ruisselante, il faudrait maintenir le condenseur entre 412° et 930° et lui donner une grande capacité pour que le ruissellement eût le temps de s'effectuer. C'est incompatible avec un fonctionnement intensif. C'est excessivement dangereux d'ailleurs, car les vapeurs de zinc se condensent et provoquent des absorptions qui font parfois rentrer l'air dans le condenseur et y produisent des mélanges tonnants d'une violence extrême. L'auteur a dû renoncer à ce mode de condensation pour ces raisons pratiques.

Quand on traite directement les minerais tels quels, la condensation des vapeurs de zinc ne peut se faire pratiquement qu'à l'état de brouillard, c'est-à-dire à l'état de poussière métallique.

Si l'allure du four est suffisamment chaude, cette poussière métallique contient la totalité du zinc dégagé, et aussi la totalité des métaux volatilisables avec le zinc, notamment le plomb et l'argent d'une part, et d'autre part une petite quantité d'impuretés provenant des scories, savoir, quelques millièmes de silicium, aluminium, calcium, fer, manganèse, etc.; la pureté de la poussière se tient ainsi vers 95 p. 100 de (Zn + Pb). Son degré d'oxydation est très faible : moins de 2 p. 100 de zinc y sont à l'état d'oxyde et encore cet oxyde provient-il sans doute des manipulations à l'air de cette poudre, tellement oxydable qu'au moindre échauffement elle devient pyrophorique.

Les débouchés commerciaux de la poussière de zinc sont assez abondants. Telle quelle, elle sert de réducteur puissant en chimie organique. On la recherche aussi pour la peinture du fer en première couche, car elle y est supérieure au minium de plomb; elle agit là non seulement à la façon d'un vernis, mais encore comme une sorte de galvanisation. Elle est enfin susceptible de s'employer comme matière première pour la fabrication du blanc de zinc dans les usines qui produisent ce blanc par la distillation du zinc métal. Mais tous ces débouchés sont cependant insuffisants pour un produit tel que le zinc électrique. Il faut pouvoir le transformer en lingots.

On dispose à cet effet des fours Montefiore qui agglomèrent le zinc par pression de la poussière chauffée au-dessus de 412°.

On dispose aussi de la redistillation par chauffage, soit au charbon, soit électrique. Il ne faudrait pas croire que cette redistillation soit une lourde charge, car elle est intensive et peu coûteuse, puisque le zinc est métallique et qu'il n'y a pas d'oxyde à réduire. Elle ressemble quelque peu à la distillation des crasses de désargentation du plomb par le zinc. Elle peut d'ailleurs être conduite en forme de rectification et donner un métal raffiné. Les résidus sont recueillis et traités pour plomb et argent.

On dispose encore du raffinage électrolytique en vue d'obtenir ainsi du zinc à haut titre, et d'autre part le plomb et l'argent.

Il y a à tenter enfin la fusion de la poussière sous scorie, avec l'aide ou non d'une action électrolytique, à la façon de l'aluminium qui se rassemble en une masse liquide sous un bain de fluorures.

En fin de compte, les moyens abondent suffisamment pour qu'il n'y ait pas à se préoccuper de la production du zinc à l'état pulvérulent.

Production directe du zinc compact. — Mais il est bien évident que, théoriquement, il serait plus séduisant d'obtenir le zinc liquide de suite. Pour y parvenir, il se présente trois moyens :

1° Distiller le zinc uniquement à l'état de vapeurs concentrées, c'est-à-dire dans l'état où elles se dégagent dans la troisième période du traitement courant.

Pour cela, il faut alimenter le four non plus avec des minerais tels quels, mais avec des minerais déjà réduits par le chauffage préparatoire de leur mélange avec du charbon. En d'autres termes il faut faire précéder le four électrique d'un four auxiliaire, à manche ou de tout autre genre, où le minerai est réduit à basse température comme dans la première période du traitement courant. Le four électrique n'a plus alors qu'à fondre la masse déjà réduite en en volatilisant le zinc. Au lieu de se dégager diluées, les vapeurs de zinc s'obtiennent ainsi concentrées et susceptibles de condensation ruisselante. Il se forme toujours un peu de poussière de zinc, mais cette poussière est repassée dans le four et contribue à diminuer la dilution des vapeurs de zincs ultérieures.

2° Conduire le travail du four électrique à température suffisamment basse pour que le zinc ne distille pas et coule au contraire sous les scories.

Ce second procédé exige une transformation radicale, d'ailleurs sans difficulté, de la conduite précédente du four. Electriquement, il doit travailler en résistance et non à arc. Chimiquement, la composition des scories doit être réglée pour obtenir une grande fusibilité sans cependant augmenter par trop la teneur en zinc. De cette façon, la marche du four se faisant à basse température, on alimente avec des minerais préalablement réduits aussi complètement que possible. A la condition de ne pas forcer la marche, on obtient ainsi le zinc liquide dans le four et peu de poussière est entraînée au dehors.

3° Le troisième procédé relève d'un principe partiellement électrolytique.

Les minerais sont d'abord réduits préalablement à basse température, mais sans mélange de charbon : leur réduction est exclusivement faite par de l'oxyde de carbone. C'est dire que le zinc silicaté y reste tel quel puisqu'il n'est réductible que par le carbone solide. Après cette réduction, les minerais sont chargés dans le four. Le lit de fusion a été réglé pour la production d'une scorie très fusible en vue d'une marche à basse température. Le travail électrique se fait par résistance.

La fusion du zinc provenant de la réduction préalable de l'oxyde se fait comme dans le cas précédent ; le métal se rassemble sous les scories. Quant au zinc silicaté il est électrolysé. Le four, en effet, au lieu de recevoir du courant alternatif, est alimenté de courant continu, de sens tel que le zinc se dépose sur la tôle, exactement comme cela se pratique dans la métallurgie de l'aluminium. On n'évite pas totalement les poussières de zinc, mais il y en a très peu.

Tels sont les trois moyens qui se présentent pour l'obtention directe du zinc liquide.

Marche pratique. — Une expérience suffisante manque encore à l'auteur pour indiquer lequel est le meilleur, et s'il y a avantage à recourir plutôt à eux qu'au procédé de réduction brutale et d'entière volatilisation, quitte à refondre ou redistiller, comme il a été dit plus haut, le zinc obtenu à l'état de poussière. Il est certain que cette dernière marche métallurgique est plus rustique et plus intensive ; et rien ne prouve qu'elle ne soit pas pratiquement aussi économique que les autres, car il ne faut pas oublier que la poussière obtenue est inoxydée. Mais on ne saurait méconnaître, par contre, qu'il est plus séduisant d'obtenir directement le zinc à l'état liquide, et, dans ces vues, le deuxième des trois moyens précités est plus particulièrement à ma convenance.

Four. — La construction adoptée par M. Salguès pour les fours à distiller le zinc ne diffère essentiellement de celle des fours électriques clos ordinaires que par le mode d'assurer leur étanchéité.

C'est en effet un problème tout spécial que celui de recueillir des vapeurs de zinc. Celles-ci, se condensant dès 930 degrés et s'infiltrant partout avec les gaz dans lesquels elles sont diluées, encombrent de leurs dépôts toutes les cavités moins chaudes du four, y rendent à la longue toute manœuvre impossible, forment des courts-circuits, etc., et qui plus est, aussitôt que la température s'élève en un point au-dessus d'un niveau déterminé, elles y occasionnent une attaque prompte des enveloppes métalliques et les transforment en alliage fusible qui coule et laisse un trou béant.

D'un autre côté, l'opération métallurgique à réaliser dans le four exige que très fréquemment on vienne y travailler à l'intérieur, soit pour des charges, soit pour des piquages. Cela exclut les fermetures mécaniques.

M. Salguès a obtenu l'étanchéité par la simple réfrigération des orifices.

Voici comment la chose se réalise :

Prenons une lunette d'électrode, par exemple. On la munit d'un cadre métallique, en fonte, réfrigéré par une circulation d'eau, ou par arrosage, ou par ventilation fraîche, etc. L'électrode passe très librement dans ce cadre par exemple avec 10 mm de jeu ; ce jeu est nécessaire pour éviter ses coincements éventuels.

Les gaz et vapeurs de zinc sortant du four ont donc une fente béante de 10 mm de largeur $\times$ 1 200 mm de longueur, si l'électrode a une section de 300 $\times$ 300 mm.

Ils s'y engagent. S'ils y passent avec rapidité, ils la traverseront purement et simplement. Mais si, au moyen d'un obstacle quelconque, on empêche qu'ils ne la traversent vite, la vapeur de zinc aura le temps d'y subir l'action refroidissante du cadre réfrigéré ; elle s'y condensera et y formera une croûte de plus en plus épaisse et qui finalement colmate si bien le passage que l'étanchéité est obtenue. Cela se fait en quelques instants.

Lorsque plus tard, pour la conduite du four, on remuera l'électrode, et qu'on détruira quelque peu de colmatage, il se produira une fissure, une fuite. Mais, presque aussitôt, on voit le jet de gaz se rapetisser et disparaître. L'étanchéité est restaurée.

Pareille méthode d'étanchéiage convient aux orifices de chargement et de manœuvre. Les orifices sont pourvus d'une lèvre métallique refroidie, sur laquelle porte simplement une plaquette de fonte. Sans joint, sans même que le portage ait besoin d'être ajusté, la réfrigération suffit pour colmater d'une croûte de zinc l'intervalle des deux pièces, pour assurer l'étanchéité presque instantanée. Il n'y a donc plus d'embarras à ce que les piquages intérieurs soient pratiqués aussi souvent que le réclame la bonne conduite des fours.

Bien des dispositifs de détail peuvent réaliser ce principe de réfrigération. En voici un particulièrement simple, qui a été appliqué à un four d'environ 100 kilowatts. Le dessus du four est couvert d'une très épaisse plaque de fonte refroidie par arrosage. L'unique lunette d'électrode est pourvue de lamelles d'amiante sur lesquelles on jette de temps en temps un peu de matière pulvérulente du lit de fusion ; cela suffit à obturer assez pour que le colmatage se produise. Les orifices de chargement sont fermés par une tuile en fonte coulissant sur la plaque. En combinant le mouvement de cette tuile avec celui d'un seau de charge, on arrive à charger le four sans provoquer pour ainsi dire aucune perte de gaz ([1]).

Le même système de réfrigération est utilisé pour rendre étanches les parois du four ; ainsi le colmatage en est parfait et il n'y a pas de perte.

La sole est construite comme celle des fours métallurgiques ordinaires, en sable notamment. A la condition de pouvoir la réfrigérer et d'abaisser ainsi sa température au point voulu pour éteindre ses affinités chimiques vis-à-vis du bain de scories, on arrive à la faire durer indéfiniment. L'électrode inférieure s'attaque d'abord jusqu'à ce qu'elle se creuse ; alors elle se recouvre d'un régule métallique qui la supplée et la protège, et finalement le four peut fonctionner ainsi sans qu'on n'ait plus guère à se préoccuper de ce point-là.

Un grave inconvénient du procédé employé pour assurer l'étanchéité du four est l'énormité relative de la surface réfrigérante d'un tel système de four proportionnellement à l'étendue de son laboratoire. Il y a là, effectivement, un point faible qui n'est que partiellement compensé par l'intensité du travail dans ce laboratoire. Mais c'est un inconvénient qu'on ne peut éviter, et qu'on peut tout au plus atténuer par l'emploi de fours jumelés.

Le traitement des minerais de zinc exige une appropriation des caractéristiques du courant et surtout du voltage aux marches qu'on veut réaliser. Pour la distillation totale, un voltage relativement haut est praticable ; pour la fusion, le travail en résistance exige un voltage très bas. Les fours à une seule électrode pendante conviennent au premier cas ; mais ils ont des inconvénients de détail. Les fours à deux électrodes pendantes en série, sont mieux appropriés au second, et sont préférables en général.

Dans tous les cas M. Salguès trouve avantage à l'emploi d'électrodes pendantes plutôt qu'à celui d'électrodes face à face horizontales ou inclinées. L'épuisement des scories en est la raison principale.

Le courant peut être continu ou alternatif, sauf dans la marche électrolytique précitée.

Condenseur à poussière de zinc. — La condensation pulvérulente des vapeurs de zinc comporte la connaissance préalable de leur mode de dégagement.

Le travail d'un four électrique est certes continu, mais sa production n'est pas uniforme, car il peut y avoir des irrégularités dans la descente des charges, etc... Il se dégage un mélange gazeux généralement normal, mais parfois plus, parfois moins riche en zinc. Il en résulte une irrégularité de condensation, et si des refroidissements intempestifs surviennent au moment où il y a le moins d'oxyde de carbone, on court le danger de voir se produire des absorptions en queue de condenseur. Ces absorptions ont d'autant plus de chance de se produire que la température des gaz à la sortie du four est voisine de celle de 930 degrés, où commence la liquéfaction. Il suffit ainsi de peu

([1]) Il y a cependant à l'intérieur du four une pression très faible il est vrai, mais cependant réelle et parfois susceptible de provoquer des soufflards quand on ouvre intempestivement le four.

de chose pour qu'une rentrée d'air se produise. Alors, si le mélange tonnant résultant parvient jusqu'à des régions suffisamment chaudes pour s'enflammer, ce qui est facilité par la présence d'un brouillard presque pyrophorique de zinc, il y a explosion, et l'expérience m'a montré qu'il est rare qu'une telle explosion ne soit pas d'une violence dangereuse.

Il faut donc absolument disposer le condenseur à zinc pour empêcher toute rentrée d'air, et en même temps il est prudent de donner au condenseur une forme tubulaire en ligne brisée et la plus faible capacité possible.

Ces considérations ont amené l'auteur à constituer son condenseur par quatre tubes disposés comme les branches d'un W. Au sommet intermédiaire est ménagée une trappe fermée par un carton d'amiante qui saute en cas d'explosion. Sur la dernière branche est fixée une longue manche en toile d'amiante assez serrée pour filtrer les gaz résiduels et retenir leur poussière de zinc, mais assez lâche pour ne pas créer de pression excessive dans le condenseur. On la bat d'ailleurs de temps en temps pour la dégorger. L'amiante a été choisie de préférence à un tissu végétal parce que celui-ci, imprégné de poussière pyrophorique de zinc, prendrait feu. Le volume intérieur de la manche doit être suffisant pour équivaloir à la plus grosse absorption possible. Cela étant, quand une absorption se produit, le sac s'applatit, son contenu, formé de gaz résiduels mais sans aucun mélange d'air, rentre dans le condenseur. Les gaz résiduels y sont inertes. Tout danger d'explosion est écarté.

L'extraction du zinc pulvérulent hors du condenseur exige des précautions pour éviter son oxydation à l'air. Le meilleur extracteur paraît consister en un piston qui expulse une carotte de poudre comprimée, à la façon des agglomérés cylindriques de houille. Le produit sort ainsi tassé, compact, inoxydé et de plus maniable à l'air libre.

Ainsi établi, le condenseur fonctionne à souhait tant que le four donne des gaz et vapeurs se condensant en poussière ; mais quand la proportion de vapeur de zinc vient accidentellement à s'accroître à l'excès, il se produit en tête du condenseur un ruissellement de zinc qui empâte les poussières déjà déposées en ce point et y forme des croûtes. Il faut extraire celles-ci à coups de ringards. Mais les ringards introduits dans la vapeur de zinc sont promptement attaqués par elle, pour peu qu'on les y laisse se chauffer. L'alliage zinc et fer résultant coule et l'outil est perdu. Il fallait donc rechercher la suppression radicale des croûtes. Voici un dispositif qui y parvient :

En queue, immédiatement avant la manche de sûreté, on puise des gaz résiduels froids par un ventilateur et on les refoule en tête du condenseur à la sortie du four. Ces gaz froids, se mélangeant aux vapeurs de zinc, les diluent assez pour les empêcher de ruisseler, et en outre les refroidissent au point de les condenser immédiatement en poussière solide. Toutes croûtes sont ainsi impossibles. Il n'en résulte d'ailleurs pas de besoin d'agrandir le condenseur, puisque son effet réfrigérant n'a pas à devenir plus considérable, la quantité de gaz et vapeurs sortant du four ne variant pas. Il n'en résulte pas non plus d'accroissement sensible dans la pression intérieure du four, car l'action du ventilateur ne modifie que très peu les pressions dans le circuit où il agit.

Ce ventilateur doit, bien entendu, être construit avec la précaution d'y empêcher toute rentrée d'air, ce qui est sans difficulté.

IV. Résultats économiques du procédé Salgués. — A ce sujet, l'auteur s'exprime ainsi :

« Tout d'abord, je rappellerai que, grâce à l'épuisement presque complet des résidus, les pertes de zinc en traitement sont réduites à moins de la moitié de celles actuelles. Il est ainsi possible de tirer un bien meilleur parti des minerais marchands qui sont les riches et les moyens, et d'utiliser les pauvres qui sont délaissés et presque sans valeur.

» Je rappellerai également que le sulfure de zinc actuellement perdu dans les charges est utilisé, de sorte qu'il n'est plus nécessaire de se préoccuper autant du parfait grillage des blendes, et de les faire passer à cet effet dans des usines de grillage parfois lointaines. Un grillage grossier, fait à côté de la mine, en un lieu propice, à l'air libre, et aux 8/10 à 9/10, suffit.

» Je rappellerai enfin que, lorsqu'on traite les minerais plombeux et argentifères, le plomb et l'argent passent avec un coefficient d'utilisation voisin de celui du zinc, c'est-à-dire avec des pertes minimes. Cela permet non seulement de tirer bon parti des blendes impures, mais aussi de traiter les sulfures multiples, dits mine-

rais mixtes, dont l'emploi actuel est si défectueux que la vente ne peut s'en faire qu'à des prix très réduits, allant jusqu'au non-payement du zinc qu'ils contiennent.

» En un mot, on peut traiter avec profit n'importe quels minerais de zinc, et par conséquent en régler les approvisionnements de manière à faire ressortir l'achat de l'unité de zinc à un prix très bas.

» Pour une usine bien située, il y a là matière à réaliser l'énorme économie de 10 à 20 p. 100 au moins, suivant qualité des minerais, dans le prix d'achat du zinc entrant en traitement.

» D'autre part, les grands gisements miniers sont, en général, environnés de régions montagneuses où les forces hydrauliques abondent. On dirait que la nature a placé ensemble les minerais et les sources naturelles d'énergie qui permettent de les traiter électriquement. Il n'y a que des profits à retirer de leur conjugaison, qui doit procurer une économie de transports, en dispensant d'expédier les minerais aussi loin qu'aujourd'hui. Et cette économie est certes bien loin d'être négligeable.

» Ce sont là deux facteurs économiques importants, créant une supériorité du procédé électrique sur le mode de traitement actuel.

» Cette supériorité s'affirme par la simplicité et le prix de revient du travail électrique. L'exposé qui a été fait plus haut a mis en relief l'extrême simplicité de ce travail, qui ne le cède en rien, sous ce point de vue, à la métallurgie en four à cuve.

» Quant à son prix de revient, on comprendra que je doive me défendre d'en parler d'une façon trop précise. Mais je puis affirmer, par la pratique acquise en marche industrielle, que par l'électrométallurgie on peut avantageusement concurrencer les procédés actuels, non seulement quand on traite des minerais pauvres, ce qui est presque évident, mais aussi dans le traitement des minerais riches.

» On s'en rendra compte d'ailleurs aisément d'après les indications suivantes :

» La caractéristique des fours électriques est, entre autres choses, l'intensité extrême du travail auquel ils se prêtent. Dans des petits fours à carbure transformés, d'environ 100 kilowatts chacun, alimentés de minerais froids titrant 40 à 45 p. 100, la production de zinc atteint près de 5 kg par kilowatt et par jour. Cela correspond à 1,8 tonne par an. Avec des fours semblables, mais convenablement construits, ayant notamment moins de pertes de chaleur et un moindre décalage du courant alternatif qui les alimente, il n'est pas douteux qu'on atteindrait 2 tonnes de zinc par kilowatt et par an. Dans des fours puissants, à déperditions faibles, chargés de matières chaudes, j'estime que la production doit pouvoir se doubler.

» Mais tenons-nous-en à 2 tonnes. C'est déjà très suffisant pour rendre singulièrement économique le chauffage électrique, en payant le courant aux prix que comportent les forces hydrauliques ou les gaz de hauts fourneaux = environ 50 fr le cheval-an continu.

» Comme pour le chauffage, la main-d'œuvre au four électrique donne lieu à économies. Dans une batterie de fours bien installés, cette main-d'œuvre ne doit pas excéder 4 journées d'hommes par tonne de zinc produit. C'est moins que n'en exige le service des fours actuels, et de plus il n'est pas besoin d'ouvriers spéciaux de métier, de sorte que leur travail est moins cher.

» La dépense d'électrodes est, il est vrai, un facteur nouveau à la charge du travail électrique. Mais cette dépense est faible, car les électrodes peuvent être usées à fond, malgré la forme creuse et close des fours. Elle équivaut, à peu près, à la consommation des matières réfractaires dans les usines actuelles, et elle se balance par conséquent avec cette dernière.

» L'entretien des fours électriques représente une dépense minime, ce qui se comprend, puisque leurs parois ne sont pas intéressées au chauffage, et que le travail intérieur se développe au sein de la matière elle-même, et non dans une enceinte réfractaire agissante. Il résulte de là un nouvel élément d'économie.

» Enfin, les charges de capital d'une usine électrométallurgique ne sauraient être bien lourdes. Les frais d'installation d'un atelier à zinc ne dépassent pas ceux d'un atelier de même puissance à carbure de calcium. C'est dire qu'ils sont peu de chose.

» Il est impossible de méconnaître, d'après ces indications générales, que le prix de revient du zinc, dans une usine électrique bien montée et géographiquement bien située, doit ressortir à un taux fort inférieur à celui des usines actuelles.

» Ajoutons que les avantages ci-dessus ne

sont pas nécessairement dépendants d'une puissante exploitation. Ils se réalisent fort bien dans des installations de petite importance : 500 à 1 000 chevaux y suffisent. Et même n'est-il pas nécessaire que la puissance soit constante, car les fours à zinc ont beaucoup d'élasticité d'allure.

» Il résulte à mes yeux, de tout cela, que les procédés d'électro-métallurgie du zinc, dont je viens de faire l'exposé, paraissent appelés à ne pas tomber dans l'oubli comme leurs devanciers; et bien qu'il soit difficile d'émettre des prévisions à ce sujet, il semble qu'ils doivent avoir pour effet de décentraliser la métallurgie du zinc et de la rapprocher intimement des régions minières. »

V. Fabrication du blanc de zinc. — Ainsi qu'il a été dit plus haut le procédé Salguès peut servir aussi bien à la fabrication directe du blanc de zinc qu'à l'obtention du zinc métallique [1].

Les fours à blanc de zinc sont d'ailleurs identiques aux fours à zinc métalliques ; la seule différence est dans le mode opératoire : la distillation totale est de rigueur et les gaz et vapeurs sont allumés à l'air au sortir du four au lieu d'être condensés.

Comme le blanc de zinc est un produit qui doit être obtenu aussi pur que possible, il importe de donner des soins spéciaux à l'alimentation du four et à la conduite du travail. On choisit avec soin les minerais appropriés ; on règle le lit de fusion pour obtenir des scories épurantes ; et le four est mené sans excès de voltage, car il en résulterait des volatilisations parasites. Des piquages nombreux sont pratiqués pour assurer la descente régulière des charges et éviter des localisations de températures excessives. Des touches instantanées sont ménagées à la sortie des brûleurs pour s'assurer constamment de la qualité du produit obtenu. En un mot, on ne vise plus ici la simple distillation d'un tonnage déterminé de zinc, mais l'obtention des vapeurs dans les conditions de propreté et de régularité voulues.

Le travail de conduite des fours n'en devient pas délicat toutefois, mais il exige des soins.

La flamme donnée par les gaz et vapeurs sortant du four est très abondante. Dans les petits fours de moins de 100 kilowatts, il n'est pas rare de lui voir prendre le développement du corps d'un homme. On pourrait craindre dans ces conditions que la combustion du zinc s'y fît incomplètement, ou donnât au blanc produit une forme physique non marchande. Il n'en est heureusement rien.

La combustion du zinc se fait complètement, parce que l'oxyde de carbone accompagnant les vapeurs de zinc brûle en donnant CO^2, et que le zinc est oxydé par CO^2.

Les fumées de blanc de zinc, une fois produites, sont envoyées dans une chambre de brassage, où s'achève l'oxydation. Puis elles s'engagent dans des tuyaux brisés en tôlerie où elles se refroidissent en déposant le moins possible, et après, dans des chambres de dépôt, où elles abandonnent la presque totalité du blanc.

A la sortie de ces chambres, un ventilateur les aspire et les envoie sous la pression voulue dans des manches en tissu filtrant où elles abandonnent les dernières traces de blanc. Pratiquement, avec une bonne installation, la perte est ainsi nulle.

Le blanc de zinc que donne cette méthode de fabrication est sensiblement plus fin que celui résultant de la distillation du métal. Cette ténuité est due sans doute à la dilution des vapeurs de Zn dans le CO. Cette finesse et d'autres particularités lui procurent une qualité supérieure au point de vue de ses usages en peinture : il couvre davantage, il est plus siccatif, et son broyage exige plutôt moins d'huile.

Mais il est moins pur, naturellement, au point de vue chimique, que le blanc préparé en se servant de zinc métallique, déjà épuré. On peut chiffrer à 5 p. 100 environ ses impuretés, formées comme celles précitées de la poussière métallique de zinc, c'est-à-dire de quelques millièmes de silice, d'alumine, de chaux, etc., etc., et du peu de plomb (moins de 1 p. 100 en général) qu'on ne peut éviter de rencontrer, sauf exceptions, dans les minerais même les plus purs, comme le sont les blendes bien lavées et grillées.

La pureté chimique du blanc est-elle utile ? Nullement. Les fabricants de blanc de zinc pur reconnaissent eux-mêmes qu'ils font ainsi un produit de luxe et non pas un produit de grand usage, susceptible de remplacer économiquement la céruse.

[1] Cette fabrication est actuellement pratiquée aux usines à carbure de Crampagna, le prix de vente du kilogramme de zinc étant, pour le moment, du moins, plus avantageux sous la forme de blanc de zinc que de lingots.

C'est ainsi, d'ailleurs, que la question a été déjà expérimentalement tranchée à l'étranger par le succès des fabriques de blanc de zinc Wetherill et similaires, où l'on emploie comme matière première, non du métal, mais du minerai de zinc, qu'on mélange avec de l'anthracite et qu'on charge, soit sur une grille soufflée, soit en four à cuve. Il s'en dégage un mélange de vapeurs de zinc et de zinc, plus ou moins oxydé peu importe, avec tous les gaz résultant de la réduction des minerais et de la combustion de l'anthracite de chauffage. On termine la combustion du zinc, et la masse des gaz et fumées est envoyée dans de vastes chambres de dépôt, terminées par des surfacs filtrantes, développées en proportion du grand volume des gaz résiduels. Le blanc de zinc ainsi obtenu n'est pas chimiquement plus pur que le blanc électrique. Ce sont deux produits similaires, mais l'usage en a consacré l'emploi et, aujourd'hui, il tend à se développer de plus en plus. Il y a une telle différence, en effet, entre le cours du zinc à l'état métallique tel que l'emploient les anciennes usines, et le prix du zinc à l'état de minerai, qu'un énorme écart est possible entre le prix de vente du blanc pur et celui du blanc brut, et que le premier ne saurait subsister longtemps, sauf à titre de produit de luxe.

La question qui se pose est dès lors celle-ci :

La fabrication du blanc de zinc brut par l'électricité est-elle plus économique que celle par les procédés au minerai dont il vient d'être parlé ?

M. Salguès ne donne pas à cette question de réponse précise. Il faut seulement observer que les fabriques de blanc de zinc brut, par les procédés genre Wetherill, sont nécessairement de grandes usines, tandis que les fabriques électriques peuvent s'établir sur des bases restreintes. Les premières doivent donc alimenter une région de grande étendue et ont dès lors à supporter des frais de transport élevés pour leurs produits ; les secondes, pouvant être installées au centre de la consommation (une force hydraulique de 500 à 1 000 chevaux, comme il en existe de tous côtés en France, permet déjà d'obtenir 1 000 à 1 500 tonnes de blanc de zinc) éviteront ces frais. Il est vrai que ces dernières auront généralement à supporter des dépenses plus considérables pour les approvisionnements de minerais, mais les tarifs de transport de minerais étant très bas, tandis que ceux du blanc de zinc sont très élevés, l'économie est encore importante.

DIVERS

Energie dans les circuits magnétiques oscillants, par **J. Zenneck**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 1121-1135, juillet 1903 (¹).

L'énergie dépensée par seconde dans un circuit électrique parcouru par un courant alternatif est égale à $\frac{r I^2}{2}$ (I = amplitude d'intensité) et par conséquent dépend de la résistance. L'énergie échangée est

$$\frac{nLI^2}{2} = \pi n L \frac{1}{2\pi} I^2 \qquad (1)$$

proportionnelle donc à l'impédance $\pi n L$ (n = fréquence). Dans le circuit magnétique, c'est l'inverse. La dépense d'énergie dépend de l'impédance magnétique, l'échange d'énergie de la résistance magnétique r_m ou r'_m. On a en effet pour ces deux quantités :

$$\pi n L_m . \pi n \frac{Q^2}{2} \qquad (2)$$

$$r_m \frac{nQ^2}{2} \qquad r'_m \frac{n}{2} Q^2. \qquad (3)$$

Q étant l'amplitude du flux magnétique.

Ces formules peuvent se démontrer directement dans des cas particuliers. Par exemple, on établit que l'expression (2) est identique à celle de la quantité de chaleur dégagée par les courants qu'induit le circuit magnétique considéré (²).

(¹) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 297, février 1903.

(²) Supposons 1° que la force magnétomotrice extérieure M le long du circuit provient d'un seul circuit à courant alternatif, formant n spires autour du premier. 2° que le circuit magnétique considéré comprend tout le champ de ce courant. On aura

$$M = \frac{Ni}{V}$$

(V = constante dépendant du système d'unités).

$$Q = \frac{M}{\sqrt{r'^2_m + (\pi n L_m)^2}}$$

$$\text{tg}\, \varphi = \frac{\pi n L_m}{r'_m}$$

La démonstration indirecte est plus générale.

Ces formules peuvent être utilisées pour calculer : l'augmentation du flux d'induction magnétique dans une bobine fermée en force de tore, produite par le noyau du fer doux ; la perte d'énergie due aux courants de Foucault dans le noyau.

Si μ est la perméabilité du noyau, μ_0 celle de l'air.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\mu}{\mu_0} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{r'_m}{r_m}\right)^2 + \left(\frac{\pi n L_m}{r_m}\right)^2}}$$

La dissipation d'énergie par les courants de Foucault, est par seconde :

$$W_F = \pi n L_m . \pi n \frac{Q^2}{2}$$

soit par unité de longueur (1 cm) et par unité

Dans le circuit du courant alternatif, on peut représenter les phénomènes par le diagramme de la figure 1

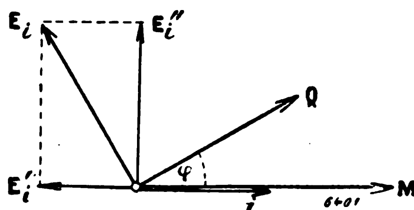


Fig. 1.

Le vecteur Q fait avec le vecteur M l'angle φ : le vecteur E_i qui représente la force électromotrice induite est perpendiculaire à Q et sa grandeur est :

$$E_i = \frac{\pi n N}{V} Q$$

Ce vecteur E peut être décomposé en deux autres, l'un perpendiculaire, l'autre parallèle à M : le premier E'_i est le courant watté ; le second E''_i le courant déwatté.

$$E'_i = E_i \sin\varphi = \pi n \frac{\pi n L_m}{\sqrt{r'^2_m + (\pi n L_m)^2}} \frac{N}{V} Q$$

$$E''_i = E_i \cos\varphi = \pi n \frac{r'_m}{\sqrt{r'^2_m + (\pi n L_m)^2}} \frac{N}{V} Q$$

Le premier seul donne lieu à une dépense d'énergie :

$$\pi n . \frac{\pi n L_m}{\sqrt{r'^2_m + (\pi n L_m)^2}} \frac{N}{V} \frac{IQ}{2}$$

$$= \pi n . L_m \pi n \frac{Q^2}{2} .$$

de section (1 cm²),

$$\frac{1}{\mu}\left(\frac{\pi n L_m}{r_m}\right) \pi n \frac{Q^2}{2}$$

En général, le calcul de $\frac{r'_m}{r_m}$ et de $\frac{\pi n L_m}{r_m}$ exige l'emploi des fonctions de Bessel. Dans deux cas limites, on obtient des formules plus simples.

Soit r le rayon du fil, λ sa conductibilité : S

$$x = \frac{r}{2} \sqrt{\frac{\pi n \lambda \mu}{2V^2}}$$

est assez petit pour que x^3 soit négligeable vis-à-vis de 1 : on a à peu près :

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\mu}{\mu_0}$$

et

$$W_F = \mu x^2 \frac{\pi n}{V^2} \frac{Q^2}{2} .$$

Cette condition est satisfaite pour des fils de fer, dont le rayon ne dépasse pas 0,5 mm.

Si au contraire x est plus grand que 1 :

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\mu}{\mu_0} \frac{1}{x\sqrt{2}}$$

$$W_F = \frac{x}{\mu} \pi n \frac{Q^2}{2} = \frac{\mu}{x} \frac{\pi n}{2V^2} \frac{I^2}{2} .$$

Il résulte de là que, en faisant croître la fréquence, on atteint un moment où l'introduction du noyau n'augmente plus le flux d'induction et même le diminue. Toute modification du noyau qui entraîne une augmentation du flux magnétique, entraîne en même temps une augmentation de l'énergie dissipée par les courants de Foucault : cette énergie est d'autant plus grande que le rayon du fil est plus petit.

Dans le cas des oscillations de haute fréquence, comme celles qu'emploie la télégraphie sans fil, l'accroissement du flux d'induction obtenu par un noyau de fils de fer fins, est assez chèrement achetée par une dissipation d'énergie relativement importante et une augmentation notable de l'amortissement.

Les noyaux formés de poudre de fer donnent une augmentation de flux plus grande et une perte d'énergie moindre que les noyaux formés de fils. Mais la dissipation d'énergie est encore

très notable, en sorte que l'utilité de ces noyaux reste très discutable.

M. L.

Résistance électrique et magnétique dans le cas des oscillations, par **J. Zenneck**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 1135-1142, juillet 1903.

L'auteur donne des courbes qui permettent de trouver la résistance et l'induction propre électrique et magnétique, quand on connaît la résistance pour l'état stationnaire. Pour utiliser ces courbes, il faut connaître :

$$x = r\sqrt{\frac{\pi n \lambda \mu}{8V^2}} = r\sqrt{\frac{\pi \pi n \lambda \frac{\mu}{\mu_0}}{2}}\ \text{CGS}.$$

ce sont les valeurs de cette expression qui sont portées en abscisses.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 24 août 1903.

Piles à plusieurs liquides différents avec électrodes métalliques identiques, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 421-431.

Dans de précédents mémoires l'auteur a montré quelles relations existent, d'après l'expérience et d'après les hypothèses de la théorie, entre les forces électromotrices des éléments de piles à électrodes métalliques différentes, constituées par 1, 2, 3,..., *n* liquides concentriques ou consécutifs. Dans cette nouvelle communication, il fait connaître d'autres expériences sur les éléments de piles à plusieurs liquides, terminés par des électrodes identiques, et compare les données observées avec la théorie.

Lorsque les électrodes sont identiques, il n'y a pas en principe de différence de potentiel dans un élément renfermant un liquide unique: mais seulement dans les éléments constitués par 2, 3, 4, 5,..., liquides séparés de composition différente. L'auteur examine seulement les éléments dans lesquels les deux liquides distincts et terminaux, c'est-à-dire en contact avec les électrodes métalliques, sont les mêmes. Les électrodes sont formées de l'un des trois métaux : zinc, cuivre, platine. Toutes les dissolutions possèdent des concentrations équivalentes : 1 mol = 5 l pour les corps monovalents, 1 mol = 10 l pour les corps divalents.

I. — Soient d'abord les éléments terminés par deux sels chimiquement neutres, tels que :

1° Le sulfate de zinc et le sulfate de sodium : SO^4Zn = A; SO^4Na^2 = B; C, D, E... répondent à SO^4H^2, SO^4Cu, BO^3H^3, NaOH, etc.

(I) *Eléments à deux liquides* : AB. — On a trouvé :

Électrodes Zn Zn : 0,00 volt. Cu Cu : 0,03 volt.
Pt Pt : 0,06 volt.

(II) *Eléments à trois liquides :* ACB. — Mêmes contacts entre électrodes et liquides :

	C = SO^4H^2.	C = SO^4Cu.
Zn Zn	0,01	0,00
Cu Cu	0,05	0,08
Pt Pt	0,05	0,05

	C = BO^3H^3.	C = NaOH.
Zn Zn	0,02	0,00
Cu Cu	0,005	0,03
Pt Pt	0,03	0,05

(III) *Eléments à quatre liquides :* ACDB.

	CD = SO^4Cu. SO^4H^2	CD = SO^4H^2.NaOH.
Zn Zn	0,07	0,00
Cu Cu	0,04	0,01
Pt Pt	»	0,08

2° Sulfate de zinc et sulfate de cuivre : SO^4Zn = A; SO^4Cu = B.

(I) *Eléments à deux liquides :* AB.

Zn Zn : 0,01 volt. Cu Cu : 0,07 volt.
Pt Pt : 0,02 volt.

(II) *Eléments à trois liquides :* ACB.

$C = SO^4Na^2$.	$C = SO^4H^2$.	$C = BO^3H^3$.
Zn Zn : 0,02	0,03	0,10
Cu Cu : 0,08	0,04	0,05
Pt Pt : 0,08	0,07	0,05

(III) *Eléments à quatre liquides :* ACDB.

$CD = SO^4Na^2.SO^4H^2$.	$DC = SO^4H^2.SO^4Na^2$.
Zn Zn : 0,01	0,03
Cu Cu : 0,05	0,02
Pt Pt : 0,06	0,06
$CD = SO^4Na^2.BO^3H^3$.	$CD =$ Borax. BO^3H^3.
Zn Zn : 0,03	0,02
Cu Cu : 0,10	0,08
Pt Pt : 0,07	0,00
$DC = BO^3H^3$. Borax.	$CD = SO^4H^2$. Na OH.
Zn Zn : 0,03	0,01
Cu Cn : 0,04	0,07
Pt Pt : 0,015	»

(IV) *Eléments à cinq liquides :* ACDEB.

$CDE = SO^4H^2$. Na OH. SO^4Na^2.
Zn Zn : 0,07
Cu Cu : 0,11
Pt Pt : 0,04

$EDC = SO^4Na^2$. Na OH. SO^4H^2.
Zn Zn : 0,05
Cu Cu : 0,04
Pt Pt : 0,015

Il convient de remarquer ici que le sulfate de cuivre mis en rapport avec une électrode de zinc donne bientôt lieu à une précipitation du métal et à une polarisation progressive, qui trouble les mesures ultérieures.

3° Les éléments terminés par $SO^4Cu = A$; $SO^4Na^2 = B$, avec 2, 3, 4. 5 liquides, ont fourni des résultats analogues aux précédents.

Ce qui frappe d'abord, dans les nombres ci-dessus, c'est la petitesse générale des différences de potentiel. Dans certains cas même, — où elles sont à peu près nulles, ou très voisines de zéro, — le signe électrique s'intervertit au bout de quelques minutes [1].

Il doit en être ainsi, en effet, d'après l'interprétation donnée par l'auteur dans une communication antérieure des valeurs considérables et différant notablement entre elles de la force électromotrice observable avec un élément terminé par deux électrodes métalliques différentes, valeurs qui se retranchent l'une de l'autre. Ces valeurs sont à peu près proportionnelles à la différence des chaleurs d'oxydation des deux métaux. Dès lors, dans le cas où le métal des deux électrodes est identique, les différences des deux potentiels devraient être nulles; ou, du moins, ne manifester que de petites inégalités, attribuables, en partie, aux différences d'état entre les échantillons d'un même métal, et surtout à la diversité des deux liquides neutres, A, B, mis en contact avec le métal M.

Dans les exemples cités, les ions acides de ces deux liquides (SO^4) sont d'ailleurs les mêmes; mais cette condition n'est pas nécessaire.

Quand aux liquides intermédiaires entre les extrêmes C, D, E, F, la somme de leurs influences a été trouvée faible; même dans le cas où il s'agit d'un alcali, tel que NaOH : en contact avec un acide auquel il se combine; ou bien avec un sel métallique dont il précipite l'oxyde, comme SO^4Cu. Bien entendu ceci s'applique seulement aux premiers instants du contact, avant que la composition des deux liquides et les matières contenues dans la paroi poreuse aient été notablement modifiées.

M. Berthelot fait remarquer que *la presque identité des potentiels totaux* observés avec les piles à 2, 3, 4, 5 liquides, terminées par les mêmes liquides, en contact avec les mêmes électrodes, *n'implique nullement que les potentiels individuels développés aux contacts des liquides intermédiaires, pris deux à deux, soient nuls ou très petits. En fait, cette identité résulte des compensations*, attribuables pour la plupart à la loi des contacts, et conformément aux développements donnés à cet égard dans les notes précédentes.

Soient, en effet, M | A.B | M un élément formé par deux liquides différents et séparés, A et B, compris entre deux électrodes du même métal M;

M | ACB | M un élément formé par trois liquides A, C, B;

M | ACDB | M; M | ACDEB | M un élément à 4 et 5 liquides.

Les sommes des potentiels respectifs seront :

[1] L'auteur rappelle d'ailleurs que ces mesures répondent à la période initiale des phénomènes, à partir du moment ou l'imbibition de la paroi poreuse est devenue régulière; la polarisation et le changement de composition résultant des échanges accomplis au travers de cette paroi ne tardent pas à troubler ce premier équilibre relatif, dans un grand nombre de cas.

$$\overline{MA}+\overline{BM}\ (\text{entre métaux}) + \begin{cases}\overline{AB}\ (2\ \text{liquides}),\\ \overline{AB}+\overline{CB} = \overline{AB}\ (3\ \text{liquides}),\\ \overline{AC}+\overline{CD}+\overline{DB} = \overline{AB}\ (4\ \text{liquides}),\\ \overline{AC}+\overline{CD}+\overline{DE}+\overline{EB} = \overline{AB}\ (5\ \text{liquides}).\end{cases}$$

Ces égalités résultent, bien entendu, d'une hypothèse non évidente *à priori*, d'après laquelle la loi des contacts serait supposée applicable aux chaînes de liquides différents. Les potentiels AB, AC, etc., peuvent avoir des valeurs quelconques: mais on voit que leurs sommes se réduisent au chiffre extrême, par suite des compensations.

II. — Examinons maintenant un élément terminé à l'un de ses pôles par un acide, et à l'autre pôle par un sel neutre.

1° $SO^4H^2 = A$; $SO^4Na^2 = B$.

(I) Deux liquides AB :

Zn Zn : 0,11. Cu Cu : 0,06. Pt Pt : 0,18.

(II) Trois liquides ACB :

	$C = SO^4Zn$.	$C = SO^4Cu$.
Zn Zn	0,06	0,12
Cu Cu	0,01	0,05
Pt Pt	0,26	0,20

2° $SO^4H^2 = A$; $SO^4Zn = B$.

(I) Deux liquides AB :

Zn Zn : 0,08. Cu Cu : 0,08. Pt Pt : 0,08.

(II) Trois liquides ACB :

	$C = SO^4Cu$.	$C = SO^4Na^2$.
Zn Zn	0,03	0,11
Cu Cu	0,00	0,04
Pt Pt	0,08	0,10

3° $SO^4H^2 = A$; $SO^4Cu = B$.

(I) Deux liquides AB :

Zn Zn : 0,02. Cu Cu : 0,06. Pt Pt : 0,11.

(II) Trois liquides ACB :

	$C = SO^4Zn$.	$C = SO^4Na^2$.	$C = NaOH$.
Zn Zn	0,12	0,11	0,08
Cu Cu	0,13	0,13	0,09
Pt Pt	0,18	0,17	0,11

4° $SO^4Zn = A$; $BO^3H^3 = B$.

(I) Deux liquides AB [1] :

Zn Zn : 0,01. Cu Cu : 0,04. Pt : 0,02.

[1] Mêmes valeurs sensiblement avec les systèmes $SO^4Cu.BO^3H^3$ et $SO^4Na^2\ BO^3H^3$.

(II) Trois liquides ACB, $C = SO^4Na^2$ [1] :

Zn Zn : 0,03. Cu Cu : 0,02. Pt Pt : 0,02.

(III) Quatre liquides :

	$CD = SO^4Cu.SO^4H^2$.	$CD = SO^4Na^2SO^4Cu$.
Zn Zn	0,02	0,03
Cu Cu	0,02	0,002
Pt Pt	0,002	0,02

$CD = SO^4Cu\,SO^4NA^2$.

Zn Zn	0,02
Cu Cu	0,005
Pt Pt	0,02

D'après ces tableaux, l'acide borique, acide faible, et le sulfate de zinc ou de cuivre, étant liquides terminaux, leur influence sur la valeur absolue du potentiel est analogue à celle des sels neutres, c'est-à-dire presque nulle. Mais il en est autrement, en fait, pour l'acide sulfurique, les différences de potentiel étant alors accrues, sans cependant acquérir des valeurs excessives. Elles le sont particulièrement avec les électrodes de platine.

Les écarts entre les groupes à deux liquides et à trois liquides sont ici plus marqués que dans les tableaux précédents. Cette divergence résulte en majeure partie de la difficulté d'écarter les complications attribuables au mélange des liquides, à travers la paroi poreuse. En effet, l'auteur a reconnu par des essais spéciaux que la moindre trace d'acide sulfurique, ou d'un acide fort, ajoutée à un sel neutre, fait varier la force électromotrice bien plus rapidement que l'addition des sels neutres en faible proportion.

III. — Soit maintenant un élément constitué par un sel neutre et un alcali.

1° $SO^4Na^2 = A$; $NaOH = B$.

(I) Deux liquides AB :

Zn Zn : 0,34. Cu Cu : 0,19. Pt Pt : 0,41.

(II) Trois liquides ACB :

	$C = SO^4Zn$.	$C = SO^4Cu$.	$C = SO^4H^2$.
Zn Zn	0,32	0,32	0,35
Cu Cu	0,19	0,20	0,20
Pt Pt	0,28	0,34	0,22

2° $SO^4Zn = A$; $NaOH = B$.

(I) Deux liquides AB :

Zn Zn : 0,34. Cu Cu : 0,21. Pt Pt : 0,31.

(II) Trois liquides ACB :

$C = SO^4Cu$.	$C = SO^4Na^2$.	$C = SO^4H^2$.
Zn Zn : 0,34	0,32	0,28
Cu Cu : 0,20	0,19	0,18
Pt Pt : 0,38	0,31	0,39

(I) Deux liquides AB :
3° $SO^4Cu = A$; $NaOH = B$.

Zn Zn : 0,33. Cu Cu : 0,26. Pt Pt : 0,19.

(II) Trois liquides ACB :

$C = SO^4Zn$.	$C = SO^4Na^2$.	$C = SO^4H^2$.
Zn Zn : 0,33	0,34	0,35
Cu Cu : 0,25	0,27	0,28
Pt Pt : 0,40	0,38	0,39

On voit d'abord que les valeurs trouvées sont à peu près les mêmes pour les systèmes terminés par les mêmes liquides, dans chacun des trois groupes à deux et trois liquides envisagés séparément.

En outre, la comparaison des trois groupes entre eux fournit des valeurs d'ordinaire fort voisines. Mais, contrairement à ce qui a été observé pour les systèmes où les électrodes sont en contact avec deux solutions salines, les potentiels observés cette fois ont des valeurs notables. Avec les électrodes de zinc, ils sont voisins d'un tiers de volt, ce qui correspond à 8 calories environ ; avec les électrodes de cuivre, ils sont voisins d'un quart à un cinquième de volt, ce qui correspond à 5 ou 6 calories. Avec les électrodes de platine, ils ont oscillé entre un et deux cinquièmes de volt, chiffres correspondants à 5 et 9 calories. Le contact d'un alcali avec les métaux mis en œuvre exerce donc une influence toute particulière.

M. Berthelot est porté à attribuer cette influence à la relation électrochimique spéciale qui existe entre les oxydes de ces métaux : zinc, cuivre, platine notamment et la base alcaline. « En effet, dit-il, les oxydes des métaux mis en présence des acides tendent à former des sels, dans lesquels les oxydes jouent le rôle électropositif au point de vue chimique ; et ce rôle subsiste d'ordinaire vis-à-vis des sels neutres. Au contraire, ces mêmes oxydes, ceux de zinc et de platine en particulier, mis en présence des alcalis, tels que la soude, tendent à former des sels dans lesquels les oxydes métalliques jouent le rôle d'acide, c'est-à-dire le rôle électronégatif, au point de vue chimique. Il en résulte que, dans les éléments de pile envisagés ici, les deux électrodes, l'une étant mise en présence d'un sel neutre, l'autre en présence de la soude, tendent à ajouter, dans une certaine mesure, leurs potentiels ; au lieu de les retrancher, comme dans les cas où le rôle électrochimique des métaux qui constituent les deux électrodes est le même. Ainsi, dans ce dernier cas, la différence des deux potentiels tend à devenir nulle ; tandis que, dans le cas d'un alcali, il en est autrement. »

IV. — Opposons un acide libre à une base libre, vis-à-vis de deux électrodes métalliques identiques, dans un même élément de pile.

Acide sulfurique et soude : $SO^4H^2 = A$; $NaOH = B$.

(I) Deux liquides AB :

Zn Zn : 0,23. Cu Cu : 0,13. Pt : 0,60.

(II) Trois liquides ACB :

$C = SO^4Zn$.	$C = SO^4Cu$.	$C = SO^4Na^2$.
Zn Zn : 0,20	0,20	0,19
Cu Cu : 0,11	0,09	0,12
Pt Pt : 0,53	0,56	0,52

(III) Quatre liquides ACDB :

$CD = SO^4Zn . SO^4Na^2$.	$CD = SO^4Cu . SO^4Na^2$.
Zn Zn : 0,23	0,19
Cu Cu : 0,13	0,13
Pt Pt : 0,57	0,50

La relation fondamentale entre les piles formées de différents liquides séparés est ici vérifiée. Mais les valeurs observées sont considérables ; ce qui se rattache évidemment à la réunion des deux influences, exercées l'une à un pôle par l'acide, l'autre à l'autre pôle par l'alcali : influences qui tendent à s'ajouter.

M. Berthelot fait constater une fois de plus la vérification expérimentale, dans les conditions chimiques les plus diverses, de la loi des contacts, en tant qu'applicable aux chaînes liquides.

V. — L'étude du dernier groupe des liquides étudiés dans le présent mémoire ramène à la relation signalée au début de ces études entre les forces électromotrices des trois éléments constitués, l'un par la réaction d'un acide sur une base donnant lieu à un sel, les autres par

les réactions de ce sel sur son acide et sur sa base séparément :

$$(1) \qquad E = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

et plus généralement par la réaction de deux liquides entre eux et sur le produit de leur action réciproque.

Cette équation peut être envisagée à divers points de vue et notamment à celui des chaînes liquides qui interviennent dans la mesure des quantités E, ε_1, ε_2.

Soient trois liquides séparés A, B, C et des électrodes constituées par un même métal M ; on peut former trois éléments de pile avec les liquides précédents, pris deux à deux selon l'ordre suivant :


M | A.B | M; M | A.C | M; M | C.B | M.

En admettant la loi des contacts pour les liquides, on obtient entre les potentiels du premier élément et ceux des deux autres éléments, disposés comme ci-dessus, la relation

$$E = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 ;$$

car

$$\overline{MA} + \overline{BM} + \underline{AB} = \overline{MA} + \overline{CM} + \overline{MC} + \overline{BM} + \underline{AC} + \underline{CB}.$$

Or

$$\overline{CM} + \overline{MC} = 0; \quad \underline{AC} + \underline{CB} = \underline{AB}.$$

Les expériences relatives à la relation signalée plus haut peuvent donc être regardées comme fournissant une démonstration de la loi des contacts, en tant qu'applicable aux chaînes liquides.

Cependant, ainsi que M. Berthelot a eu occasion de le faire observer à diverses reprises et de le démontrer par des mesures d'intensité et des expériences d'électrolyses extérieures à la pile, l'égalité entre les deux termes de l'équation (1) s'applique uniquement aux potentiels électriques, mais non aux quantités de chaleurs dégagées de part et d'autre et au travail extérieur accompli par les trois éléments. Toutes les fois que E répond à une réaction exothermique, telle que : la combinaison d'un acide et d'une base ; ou l'action réciproque de deux sels formant immédiatement un sel double très stable à l'état ordinaire ; ou bien encore une réaction oxydante ou réductrice, accomplie presque instantanément au contact des deux liquides ; M. Berthelot a constaté que l'énergie intérieure correspondant à cette réaction et entretenue par elle est susceptible d'intervenir, non seulement pour produire de la chaleur, mais aussi pour se transmettre en partie au dehors sous la forme d'un courant électrique, qui développe un travail électrolytique continu, extérieur à la pile : tandis que les réactions ε_1 et ε_2 (action d'un sel neutre sur un acide, ou sur une base, etc.), — à résultante thermique presque nulle, sinon même négative, — puisent dans le milieu ambiant les énergies qui entretiennent les potentiels de la pile qu'elles concourent à former. Par conséquent, elles ne sont pas susceptibles d'entretenir un travail électrolytique extérieur ; et celui-ci ne tendra à se produire que suivant la proportion, extrêmement faible, qui répond à l'emmagasinement continu de ces énergies extérieures.

Dans le premier élément (acide + base), au contraire, le travail extérieur est entretenu en raison de l'énergie fournie en un temps donné et d'une façon continue par la réaction chimique. En étudiant les réactions oxydantes en particulier, M. Berthelot a montré que, au moyen de l'énergie fournie par le contact des deux liquides, accompli en dehors des électrodes métalliques, l'on réalise ainsi, dans plusieurs cas, des piles qui travaillent en conservant une force électromotrice constante ; c'est-à-dire qui possèdent les mêmes caractères que les piles ordinaires, où la force électromotrice est fournie surtout par la réaction chimique accomplie entre une électrode métallique et le liquide où celle-ci est plongée. Ce sont là des circonstances capitales au point de vue de la théorie.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXVI Samedi 26 Septembre 1903. 10e Année. — N° 39

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

THÉORIE DES ALTERNOMOTEURS A COLLECTEUR (*suite*)[1]

Exemples des régimes. — Pour éclaircir plus complètement les différents cas définis par la figure 18, nous avons tracé quelques épures d'exemple qui les représentent avec plus de détails et permettent de mieux comprendre les conditions de fonctionnement correspondantes du moteur. L'injection de la force électromotrice extérieure du rotor est caractérisée par la grandeur du facteur $GC = \frac{aU_2}{r_2}$ et par son angle de calage α en arrière de la position d'origine définie plus haut.

Quand G est à gauche de C, α est compris entre o et π, à savoir entre o et $\frac{\pi}{2}$, quand G est au-dessus de OM, et entre $\frac{\pi}{2}$ et π, quand G est au-dessous de OM. De même α est compris entre $-\pi$ et o), quand G est à droite de C.

On remarquera tout d'abord que le cas du fonctionnement en génératrice se distingue à première vue du fonctionnement en réceptrice par le fait que le couple moteur, représenté par la droite verticale BH devient négatif, c'est-à-dire que le point B est au-dessous de la ligne horizontale OM.

De même le fonctionnement au-dessus et au-dessous du synchronisme se distingue immédiatement par la position du point G par rapport à la droite GM (on se rappelle que le point G est l'extrémité du vecteur GC qui mesure l'angle de courant dans le rotor); suivant que le point B est au-dessus de GM ou au-dessous, le glissement est positif ou négatif, c'est-à-dire que la machine fonctionne au-dessus du synchronisme quand B est au-dessus de GM et au-dessous du synchronisme quand B est au-dessous de GM.

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. 121, 25 avril 1903.

Enfin, le signe des énergies primaire et secondaire se déduit de la direction des projections des vecteurs I_1 et $I'_2 = BC$ sur la verticale; suivant qu'elles sont ou non de même sens que la tension U_1 du réseau, ce dernier fournit ou reçoit de l'énergie. Sans qu'il soit nécessaire de tracer I'_2 rapporté à la phase du réseau, on sait qu'il suffit comme plus haut, de considérer les directions relatives des vecteurs I_2 et U_2 pour connaître le signe de l'énergie du rotor.

Nous comprenons ainsi très aisément le fonctionnement sur les différentes épures.

L'*épure 20* correspond au cas n° I avec calage $\alpha > \frac{\pi}{2}$; on voit qu'il y a vitesse inférieure au synchronisme, puisque B est au-dessus de GM, et effort moteur puisque B est au-dessus de OM. La projection de I_1 sur la verticale OU_1 étant dirigée dans le même sens que OU_1, il y a dépense d'énergie primaire du réseau sur le stator; le courant I'_2 proportionnel au vecteur GB a de même une projection dirigée dans le sens de U_1, ce qui indique une dépense d'énergie dans le rotor; on voit du reste que les vecteurs GC et BC sont de même sens (projection de GC sur BC dirigée dans le sens BC).

Fig. 20.

La machine fonctionne donc en recevant de l'énergie de ses deux organes pour la transformer en travail. C'est le fonctionnement normal du moteur, tel que l'a prévu M. Goerges (à qui ont échappé les autres régimes); il est caractérisé par le fait que le décalage α est compris entre $\frac{\pi}{2}$ et π.

Si on fait passer le point B au-dessous de OM en B', le couple devient négatif, ainsi que la projection de I_1; le vecteur BC s'oppose à GC. La machine devient donc doublement génératrice par ses deux organes à partir d'une certaine vitesse dépassant le synchronisme. C'est le cas n° V sur lequel nous reviendrons tout à l'heure.

La *figure 21* qui représente le cas n° II diffère de la précédente en ce que nous faisons passer le point G, qui caractérise l'angle de décalage α, au-dessous de la droite OM, en diminuant l'angle de décalage α. qui est alors compris entre o et $\frac{\pi}{2}$. Sur la figure le vecteur de courant injecté GC est pris grand, de manière à donner au couple BH une valeur comparable à celle qu'elle a dans les cas ordinaires tout en le laissant positif. Cela montre qu'on peut obtenir une production d'effort moteur considérable tout en décalant peu les balais, à condition d'augmenter la tension appliquée à ceux-ci. Tant que le point B est au-dessus de la droite OM, la machine fonctionne en réceptrice, puisque son couple BH est positif. Le courant I_1 donne sur la verticale une projection de même sens que OU_1, donc il y a dépense d'énergie du réseau sur le stator. Par contre, on voit que le vecteur BB' représentant le

courant I_2 donne une projection de sens inverse (ou que le vecteur BC est opposé à GC); il y a donc passage d'énergie du rotor au réseau par le transformateur d'alimentation du rotor. C'est pourquoi nous définissons le moteur dans ce cas comme un moteur *différentiel*, produisant un travail mécanique, différence de l'énergie fournie par le stator et de celle rendue par le rotor.

On peut se demander si le phénomène inverse est possible, c'est-à-dire transmission d'énergie du réseau au réseau par voie du rotor au stator; mais l'épure démontre immé-

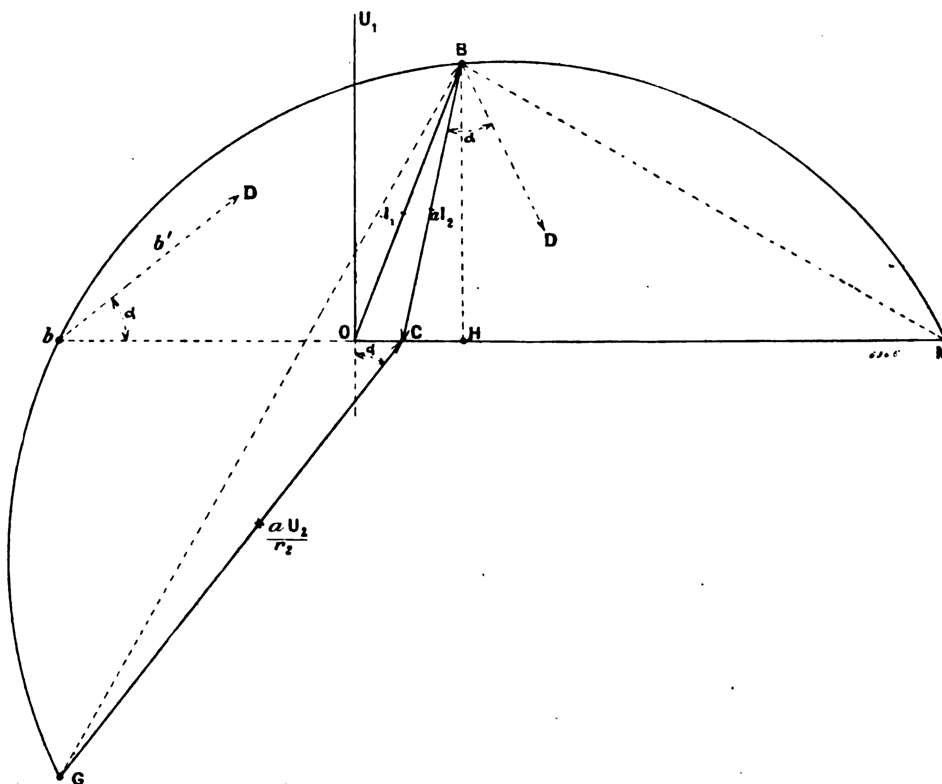


Fig. 21.

diatement que c'est incompatible avec la marche en moteur, puisque l'on ne peut inverser l'échange d'énergie entre le réseau et le stator qu'en déplaçant le point B au-dessous de OM, en B′ par exemple, et alors la machine fonctionne en génératrice (couple négatif), différentielle parce que B′C est de même sens que GC, c'est-à-dire qu'il y a fourniture d'énergie au rotor par le réseau.

Ce qu'on peut faire seulement dans l'ordre d'idée inverse, c'est de rendre le couple nul, en amenant le point B en *b*. Si l'on trace en *bb′* un angle α égal au décalage des balais et en sens inverse, le courant consommé dans le rotor est dirigé suivant *bb′* et donne une projection verticale de même sens U_1, c'est-à-dire qu'il y a consommation d'énergie dans le rotor, tandis qu'il n'y en n'a pas (sauf les pertes) dans le stator; celui-ci est seulement le siège d'un courant *b*O entièrement déwatté; la machine fonctionne alors en *génératrice de courant déwatté*. Si le point G se confond avec *b* sur l'horizontale OM, comme le montre la figure 22, le régime de production de courant déwatté est obtenu au synchronisme lui-même, cas prévu par les brevets de M. Latour; ce fonctionnement de la machine en pro-

ducteur de courant déwatté est un des points les plus intéressants et les plus nouveaux signalés par cet auteur.

La figure 23 qui définit le cas IV (génératrices Latour et Heyland) n'est qu'un cas particulier peu différent de la figure 21, caractérisé par le fait que le point G étant toujours au-dessous de OM, le point B y vient lui-même. Quand B se trouve compris entre O et G, il en résulte que le couple est négatif, bien que le glissement reste positif. La machine fonctionne donc au-dessous du synchronisme ou au synchronisme tout en jouant le rôle de génératrice simple ; cas qui ne pourrait être réalisé avec une machine synchrone ordinaire (qui ne fonctionne en génératrice qu'au-dessus du synchronisme). Elle produit un courant I_1 négatif (dirigé en sens inverse de U_1), c'est-à-dire allant du stator au réseau ; en même temps le rotor reçoit un courant I'_2 dirigé dans le même sens que U_1, c'est-à-dire allant du réseau au rotor (BC est de même sens que GC), mais plus petit que GC, donc servant exclusivement à l'excitation. Au contraire il y a filtrage d'énergie du rotor au stator (cas III), dès que l'énergie consommée par le rotor est plus grande que celle qui correspond aux pertes dans le rotor, c'est-à-dire dès qu'on dépasse le synchronisme ; car alors I_2 devient supérieur à $\frac{U_2}{r_2}$. Ce cas n° IV est réalisé, comme le montre la figure 24, si le point B vient en B' au-dessous de G et la génératrice devient *différentielle*. Enfin, c'est seulement pour des glissements importants au-dessous du synchronisme que B peut venir au-dessus de OM et la machine fonctionner en réceptrice.

Fig. 22.

Si, dans la figure 23, G est encore beaucoup plus bas, de sorte que le glissement dépasse 100 p. 100, le moteur marche en arrière en produisant un couple négatif, mais cependant moteur.

Dans le cas de la figure 23 le courant I_2 est réduit au-dessous de sa valeur normale $\frac{U_2}{r_2}$ par la force contre-électromotrice du rotor. Pour réaliser avec la moindre force électromotrice U_2 aux balais (donc minimum d'étincelles), le fonctionnement en génératrice simple (c'est-à-dire pour qu'il y ait uniquement transformation d'énergie mécanique communiquée à l'arbre du rotor en énergie électrique recueillie aux bornes du stator), il faut s'écarter peu du synchronisme, comme l'a indiqué M. Latour, et en même temps disposer le point G assez près de la droite OM.

La figure 25 représente le cas n° V d'une machine doublement génératrice. On l'obtient, comme on l'a dit plus haut, en faisant passer le point G au-dessus de la droite OM, tout en maintenant le point B au-dessous, c'est-à-dire en décalant davantage les balais

$\left(\alpha > \frac{\pi}{2}\right)$, tout en réalisant une vitesse supérieure au synchronisme (g négatif); on voit alors que les vecteurs OB et BB′ donnent sur la verticale des projections de même signe, contraire à U_1, c'est-à-dire qu'il y a envoi d'énergie vers le stator et vers le rotor (BC opposé à GC), grâce à l'application d'un couple négatif, c'est-à-dire à l'application d'un travail extérieur sur l'arbre. La machine fonctionne comme une double génératrice. Cela ne l'empêche pas de pouvoir fonctionner aussi bien comme moteur lorsqu'on fera passer le point B au-dessus du point G, ce qui fait retomber sur le cas n° I (fig. 20).

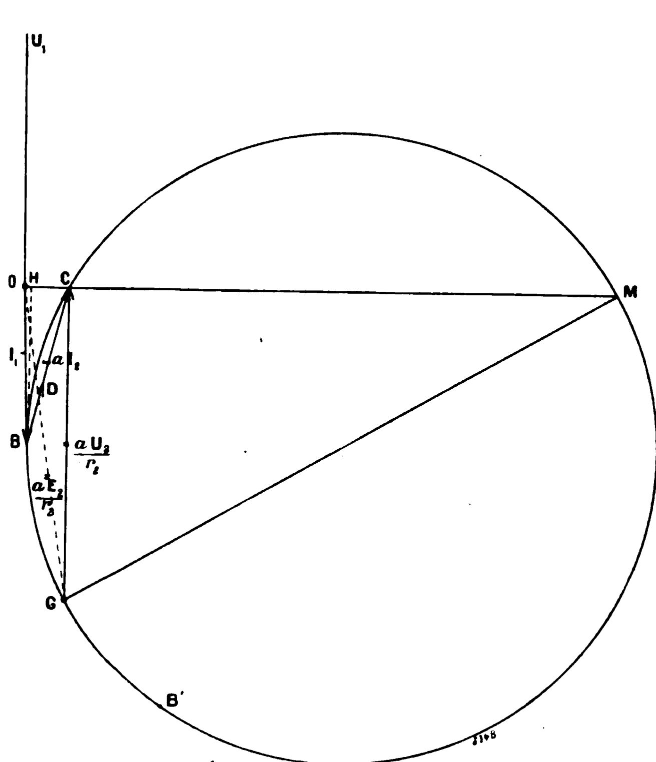


Fig. 23.

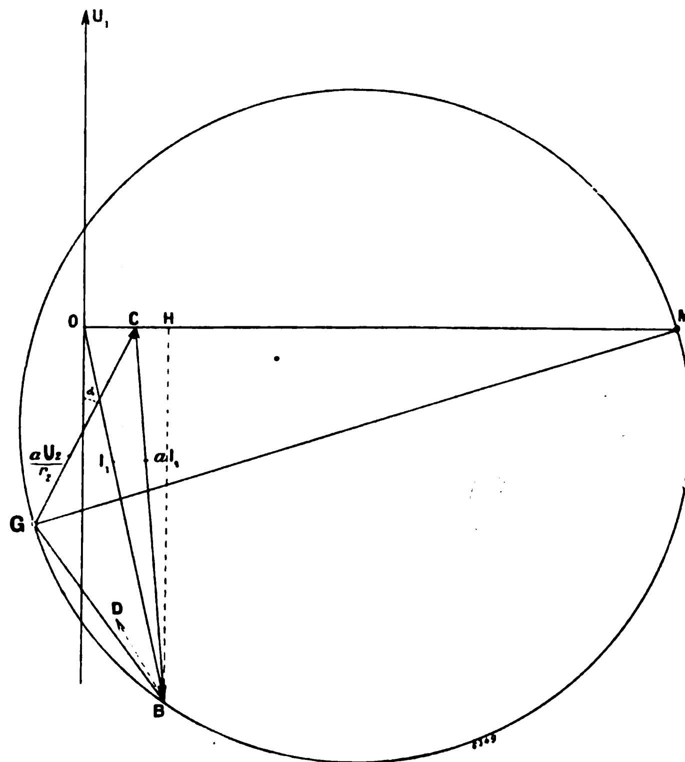


Fig. 24.

Enfin, la figure 26 représente le cas inverse de la figure 23, c'est-à-dire une double dépense d'énergie dans le rotor (pour la seule excitation) et dans le stator, tout en réalisant une vitesse supérieure au synchronisme. Elle est caractérisée par le fait que les points G et B sont tous deux au-dessus de la droite OM. Comme le point B est intermédiaire entre O et G (contrairement au cas I), on obtient un couple positif, donc moteur, en même temps qu'un glissement négatif, donc une vitesse supérieure au synchronisme. Le décalage des balais est voisin de π et peut même être supérieur. Le courant I_2 aussi bien que le courant I_1 est dirigé dans le même sens que U_1, c'est-à-dire que le moteur prend de l'énergie au réseau dans ses deux organes; mais CB reste plus petit que GC, c'est-à-dire que le courant du rotor est moindre que celui $\left(\frac{U_2}{r_2}\right)$, que réaliserait à elle seule la tension appliquée aux balais U_2. Il y a donc simple excitation, réduite par la force électromotrice induite.

Dans la figure 26, on peut aussi faire passer le point B au-dessus du point G et obtenir le fonctionnement en moteur double comme au cas I.

Ces exemples montrent toute la complexité qu'on peut obtenir dans le fonctionnement du moteur par le simple choix du vecteur CG qui caractérise l'angle de courant et qui dépend, en orientation, du décalage α, et, en grandeur, de la tension U_2 appliquée aux balais. On a donc à sa disposition tous les moyens pour le faire varier comme on veut, d'après les conditions qu'on souhaite de réaliser et qui sont définies très facilement par les épures dont on vient de donner des exemples.

Echelle des épures. — De simples changements d'échelle permettent d'interpréter différemment les lignes des épures, suivant qu'on considère le diagramme comme représentant des flux, des courants ou des tensions. Les trois figures 27, 28, 29 l'indiquent clairement.

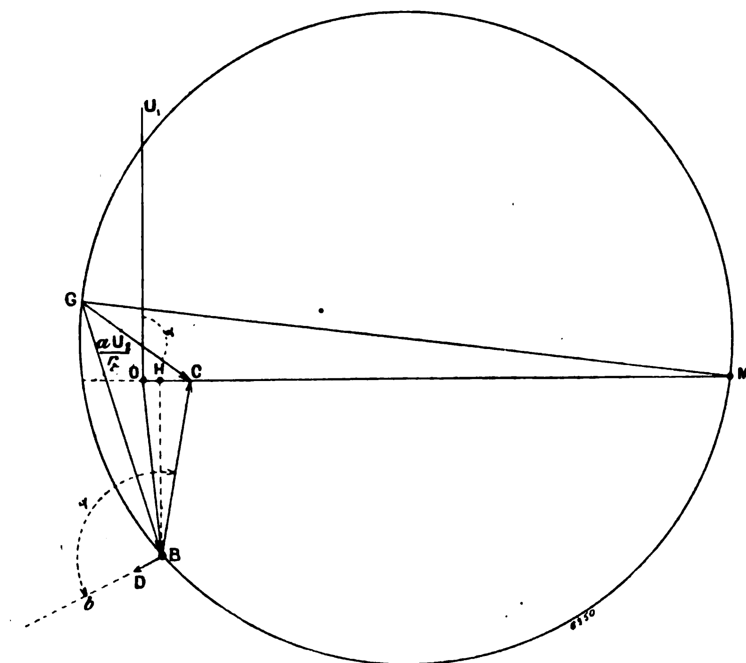


Fig. 25.

La figure 27 reproduit le diagramme de courant ordinaire, en ce qui concerne les lignes OBC_1 et BC_1G; nous ajoutons ici les valeurs des lignes CO, OC_1, C_1M et BG, en appelant J un courant dans le stator capable de produire le flux F_2.

De même, la figure 28 n'est autre que le diagramme de flux considéré au début de l'étude (fig. 8), complété par l'indication des valeurs des lignes C_1M et B_1M exprimées en flux.

Enfin, la figure 29, qui est nouvelle, donne la traduction des mêmes lignes exprimées en forces électromotrices. Ce diagramme se déduit de la figure 28, en remplaçant le flux primaire constant F_1 par la force électromotrice du réseau U_1 à laquelle il correspond, si l'on néglige la perte due à la résistance primaire. La ligne OC représente ainsi une quantité $\Omega\lambda_1$ fois plus grande que sur la figure 27, c'est-à-dire le courant multiplié par la réactance primaire. Cette dernière entrera donc comme multiplicateur de toutes les autres quantités, représentées par les lignes BG, GC_1 et BC_1. Les valeurs des lignes BM et CM se déduisent de celles des lignes OC_1 et OF_1, d'après une loi de similitude établie plus haut entre les triangles OC_1K et C_1BM, en remarquant que la ligne OC n'est autre que la force électromotrice secondaire divisée par le rapport de transformation a défini précédemment et que, par suite,

$$OK = r_1 \frac{E_2}{a}$$

Pour la commodité d'emploi, on a avantage à prendre, pour mesurer les forces électromotrice BC et BG en volts, une échelle telle que

$$BC_1 = r_2 I_2 \qquad \text{au lieu de} \qquad a\Omega\lambda_1 I_2\,;$$

alors, on aura, à la même échelle, pour BG, la force électromotrice induite elle-même

$$BG = E_2 \qquad \text{au lieu de} \qquad \frac{a\Omega\lambda_1 E_2}{r_2}$$

et, de même, par conséquent

$$C_1G = U_2$$

Au contraire, on prendra pour mesurer en volts BM et C_1M une seconde échelle, telle que BM représente la force électromotrice qui serait induite par le même flux dans le rotor s'il était immobilisé, c'est-à-dire

$$BM = \frac{E_2}{g} \qquad \text{au lieu de} \qquad \frac{1-\sigma}{\sigma} \times \frac{E_2}{ag}$$

Il suffit, pour cela, de mesurer BM à une échelle telle que

$$C_1M = U_1 \left(\frac{K_2N_2}{K_1N_1}\right)$$

Le rapport des lignes $\frac{BG}{BM}$, mesurées à ces deux échelles, se trouvera alors avoir été multiplié par $\frac{r_2}{a\Omega\lambda_1}$ d'une part, et, d'autre part, divisé par $\frac{a\sigma}{g(1-\sigma)}$, soit, au total, multiplié par $\frac{(1-\sigma)}{\sigma g}\frac{r_2}{a^2\Omega\lambda_1} = \frac{r_2}{\sigma g\Omega\lambda_2}$, si l'on se reporte aux expressions données plus haut pour les réactances et pour la valeur de σ. Or, on a vu plus haut que précisément

$$g = \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2}\frac{\overline{BG}}{\overline{GM}}$$

de sorte qu'en employant ces échelles, le glissement sera indiqué immédiatement par le rapport des chiffres de volts en marche, représentés par BG, aux chiffres de volts à l'arrêt, représentés par BM. Dans ces conditions, l'emploi de l'épure dispense de calculer $\Omega\lambda_1$ et $\Omega\lambda_2$.

Pour préciser ces considérations par des nombres concrets, mettons, par exemple, sur la figure 26 des chiffres et des échelles, en partant de valeurs numériques (ici arbitraires).

1° *Stator.* — Supposons, par exemple, un moteur à quatre pôles avec stator en triangle (les champs en série dans chaque phase); soit 110 volts la tension triangulaire (entre fils), à laquelle correspond une tension étoilée de 63,5 volts (entre fils et point neutre), 25 ampères le courant à vide à chaque borne, correspondant dans les enroulements de phase à $\frac{25}{\sqrt{3}} = 14{,}43$ ampères.

Nous prendrons une échelle des ampères primaires, telle que $OC_1 = y$ ampère.

L'inductance de chaque phase aura pour valeur, en ohms,

$$\Omega\lambda_1 = \frac{110}{14{,}43} = 7{,}62 \text{ ohms}$$

soit, par phase et par champ, la moitié 3,81.

Nous supposerons, pour la résistance ohmique correspondante, la valeur 0,10, ou pour chaque phase complète 0,20, et pour ν_1, ν_2, σ les valeurs

$$\nu_1 = 1{,}05 \qquad \nu_2 = 1{,}05$$

$$\sigma = 1 - \frac{1}{\nu_1\nu_2} = \frac{1}{11} \text{ environ,}$$

D'où

$$\overline{C_1M} = 11 \times \overline{OC_1}$$

2° *Rotor.* — Supposons les enroulements identiques à ceux du stator et le rotor bobiné

Fig. 26.

en parallèle avec 6 balais. Le nombre de spires par champ sera le même que pour le stator, mais les champs seront en parallèle au lieu d'être en série, d'où pour chaque phase d'un champ

$$k_2 N_2 = \frac{k_1 N_1}{2}$$

et comme les champs sont en parallèle

$$K_2N_2 = \frac{K_1N_1}{2}$$

D'où

$$a = \frac{1}{2 \times 1,05} = \frac{1}{2,10} = 0,476$$

et, par rapport aux courants amenés aux balais,

$$I_2^0 = 2,10 \times 14,43 = 30,30$$

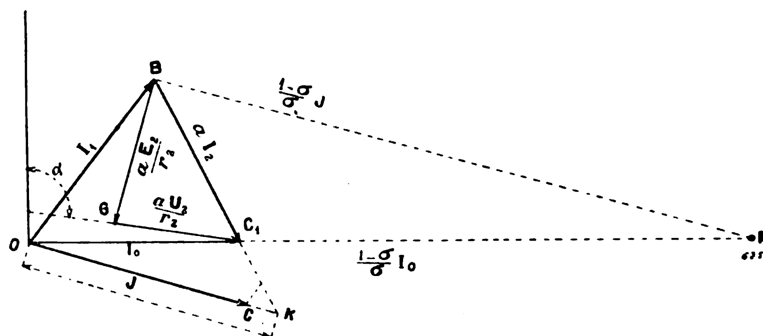


Fig. 27.

L'intensité correspondante *dans les conducteurs* aboutissant aux balais sera

$$30,30\sqrt{3} = \frac{25}{a} = 52,5 \text{ ampères}$$

et l'échelle des ampères secondaires sera telle que $OC_1 = 52,5$.

D'autre part

$$\Omega\lambda_2 = \frac{\Omega\lambda_1}{4} = \frac{7,63}{4} = 1,91 \text{ ohms}$$

$$r_2 = \frac{r_1 + \varepsilon}{4} = \frac{0,2 + \varepsilon}{4}$$

en appelant ε l'effet de la résistance des balais; admettons qu'il double la résistance propre; il en résulte

$$r_2 = 0,1 \text{ ohm}.$$

D'où la tension correspondante à I_2^0,

$$U_2^0 = 0,1 \times 30,30 = 3,03 \text{ volts environ}.$$

Sur la figure 26, nous avons donc à prendre une première échelle des volts, telle que

$$OC = 3,03 \text{ volts};$$

à cette échelle, on trouve

$$GB = 8,3 \times 3,03 = 25,15 \text{ volts}.$$

D'autre part, nous devons prendre une autre échelle, telle que $\overline{CM}$ représente la tension appliquée aux bornes du rotor arrêté en circuit ouvert pour produire dans le stator une tension égale à 110 volts, c'est-à-dire telle que

$$\overline{CM} = 110 \text{ volts} \times 1,05 = 57,75 \text{ volts}.$$

***

A cette échelle, on trouve

$$\overline{BM} = \frac{148.5}{110} \times 57{,}75 = 78 \text{ volts.}$$

D'où le glissement

$$g = \frac{25{,}2}{78} = 0{,}322$$

Fig. 28.

Cette valeur est identique à celle qu'on trouverait en multipliant le rapport des longueurs

$$\frac{BG}{GM} = \frac{83}{148{,}5} = 0{,}559$$

par le facteur

$$\frac{r_2}{\sigma \Omega \lambda_2} = \frac{0{,}1}{\frac{1}{11} 1{,}91} = 5{,}75.$$

Dans les mêmes hypothèses, on trouverait pour coefficient de transformation applicable

Fig. 29.

à l'intensité I_2 du courant secondaire fourni par le réseau, quand l'excitation par le rotor équivaut à l'excitation primaire i_0

$$m_0 = \frac{U_2^0}{U_1} = \frac{3{,}03}{110} = 0{,}0276$$

et, par suite,

$$\frac{m_0}{a} = 2{,}10 \times 0{,}0276 = 0{,}0578$$

On sait, d'autre part, que

$$m = \frac{GC_1}{OC_1} m_0$$

On a donc tout ce qu'il faut pour construire en grandeur les vecteurs vrais du courant BD.

C'est ainsi qu'ont été déterminés ces vecteurs sur les épures 20 à 26 qui précèdent et pour lesquelles, dans les hypothèses précédentes, le rapport $\frac{m_0}{a}$ a les valeurs respectives 0,156; 0,645; 0,1735; 0,365; 0,257; 0,159; 0,694.

Par exemple, dans la figure 26, on mesure $\frac{GC}{OC} = 12$; et on en déduit

$$\frac{m}{a} = 12 \times 0{,}0578 = 0{,}694\,;$$

d'où

$$BD = 0{,}694 \times BC$$

Correction due à la résistance. — Dans ce qui précède nous n'avons pas tenu compte encore de la perturbation produite par la chute de potentiel ohmique occasionnée par la résistance de l'enroulement primaire. Nous pouvons maintenant compléter l'épure par une correction, en nous inspirant de la méthode élégante imaginée par M. Heyland pour la

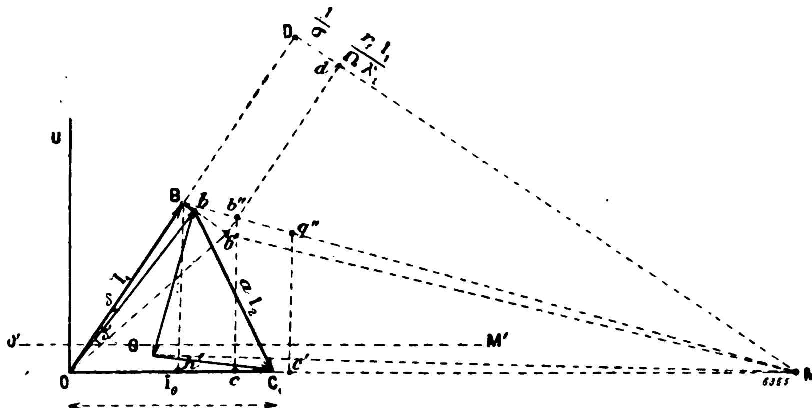


Fig. 30.

correction du diagramme circulaire du moteur asynchrone ordinaire [1]; mais en donnant une démonstration nouvelle plus correcte et une solution plus générale et plus rigoureuse par suite des conditions notablement différentes dans lesquelles se présente le diagramme général, qui ne permet, tout au plus et sauf dans des cas particuliers, de confondre ensemble OB, GB et CB.

La chute de potentiel ohmique correspond à une réduction du flux utile telle que la force électromotrice soit diminuée d'un vecteur $r_1\,I_1$ en phase avec le courant I_1. Il revient au même de retrancher du vecteur du courant I_1, sur le diagramme de la figure 29, un vecteur bB (fig. 30) perpendiculaire à celui du courant et réduit dans la même proportion que les courants par rapport aux forces électro-motrices, c'est-à-dire

$$Bb = \frac{r_1 I_1}{\Omega\lambda_1}$$

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, Essais des moteurs asynchrones, par Heyland, 1902. Dans ce travail les expressions algébriques des segments de correction sont approximatives, à quelques facteurs près ; les échelles sont constamment mélangées. Notre démonstration servira en passant à rectifier ces détails négligés par l'auteur.

l'angle $\delta = OBb$ correspondant a pour tangente l'expression :

$$\operatorname{tang} \delta = \frac{r_1}{\Omega \lambda_1}.$$

Le triangle OBC_1 de la figure 27 dans lequel la base OC_1 est constante et égale au courant magnétisant à vide est remplacé dans la figure 30 par un quadrilatère $OBbC_1$ dont la base OC_1 est constante, et dont le côté Bb est proportionnel à OB. Dans ces conditions la droite BM ne passera plus rigoureusement par un point fixe M et le lieu du point B ne sera plus un cercle ; mais on peut admettre cependant par approximation — grâce à ce que le segment Bb est tout à fait négligeable à côté des autres côtés du quadrilatère — qu'il continue à en être ainsi et que les points Bb se confondent en un seul ; (s'ils ne se confondaient pas suffisamment, on pourrait admettre que b reste sur un cercle et B sur un autre extrêmement voisin).

Cela posé, la correction principale à faire porte sur le couple, qui est proportionnel non pas à la tension aux bornes U_1 mais à la force électromotrice primaire induite E_1, d'après la formule de la page 132, est

$$C = \frac{pq_1 E_1 I_1 \cos \varphi}{\Omega}.$$

Le couple est proportionnel au produit de l'intensité wattée, (projection de OB sur l'axe OU_1) par la force électromotrice (perpendiculaire au flux primaire, qui est représenté par la droite OC_1) ; mais il revient au même de considérer le couple comme proportionnel au produit du vecteur du courant OB par la projection du vecteur du flux $F_1 = OM \times \sigma$ sur une ligne MD perpendiculaire au vecteur OB ; d'où par conséquent

$$C = OB \times MD \times \sigma \left(\frac{pq_1 k_1 N_1}{2\sqrt{2}} \right).$$

Pour avoir la réduction du flux réel, il suffit de retrancher de MD un vecteur représentant la perte de flux correspondante au vecteur Bb, soit, en passant à l'échelle des ampères comme toute la figure,

$$Dd = \frac{Bb}{\sigma} = \frac{r_1 I_1}{\Omega \lambda_1 \sigma},$$

car la droite MD est parallèle à Bb, et le flux représenté par MD est majoré dans le rapport $\frac{1}{\sigma}$, d'après ce qu'on a vu antérieurement puisque $OM = \frac{OC_1}{\sigma}$.

Le couple vrai sera donc proportionnel au produit des vecteurs OB et Md. Il revient au même, au lieu de réduire le vecteur Md, de réduire la projection Bh qui nous servira tout d'abord à évaluer le couple, en supposant le flux constant. Il suffit dans ce but de tracer le segment db' parallèle à OB et de prendre son intersection b'' avec la droite BM (qui se confond pratiquement avec bM d'après ce qu'on a dit plus haut). Le segment bb'' a pour valeur $\frac{1-\sigma}{\sigma} \frac{r_1 I_1}{\Omega \lambda}$ et le point b'' se trouve sur un cercle puisque bb'' est proportionnel à OB. Du point d'intersection b'' ainsi obtenu on abaisse la perpendiculaire $b''c$ parallèle à OU, et c'est cette droite qui doit remplacer Bh ; l'expression du couple devient alors simplement

$$C = \left(\frac{pq_1 U_1}{\Omega} \right) \times \overline{b''c};$$

au lieu de la valeur non corrigée

$$C = \left(\frac{pq\,U_1}{\Omega}\right) \times \overline{Bh},$$

et en évaluant $b''c$ sur l'épure à l'échelle des ampères comme OB lui-même.

L'expression du glissement employée précédemment

$$g = \frac{\overline{Gb}}{\overline{bM}} \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2}$$

se trouve naturellement modifiée comme le flux et devient (par approximation)

$$g = \frac{\overline{Gb}}{\overline{b''M}} \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2}$$

Si l'on voulait être tout à fait rigoureux, il faudrait remarquer que le flux est devenu Mb' au lieu de Mb'' et que la direction de Gb devrait être modifiée pour le rendre à nouveau perpendiculaire au vecteur de flux. Mais cette seconde approximation peut être négligée en général, vu le peu de précision du diagramme qui ne tient pas compte des variations souvent bien plus considérables du coefficient de fuite σ.

Enfin la puissance motrice disponible s'évaluera par le produit du couple par la vitesse, ce qu'on peut écrire

$$P = \frac{\Omega}{p}\, C(1 - g)$$
$$= qU_1\, \overline{b''c} \left(1 - \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2} \frac{\overline{Gb}}{\overline{b''M}}\right)$$

ou, si l'on porte sur bm une longueur

$$\overline{b''q''} = \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2}\, \overline{Gb},$$
$$P = (\overline{q''c'})\, qU_1$$

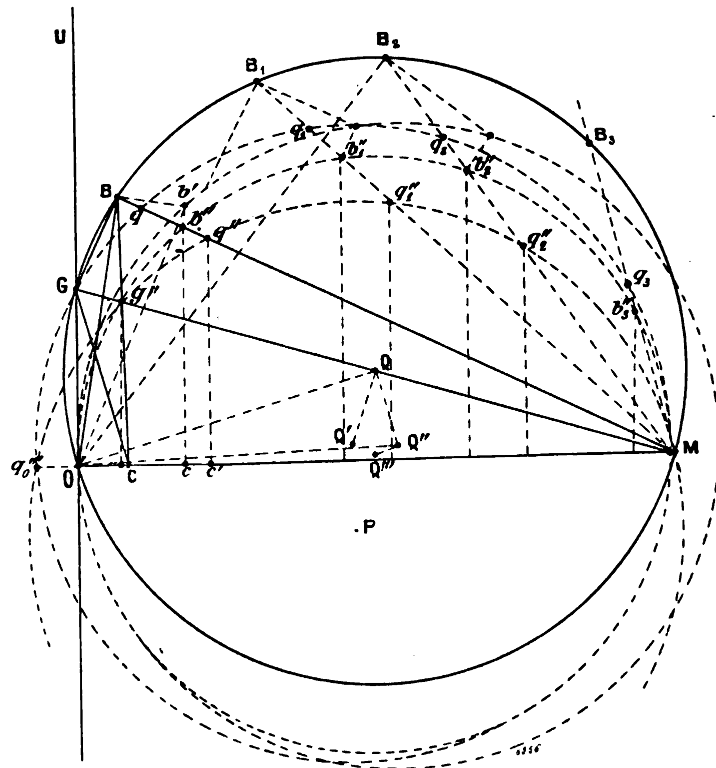


Fig. 31.

q étant toujours le nombre de phases, et U la tension aux bornes (étoilée dans cette expression, c'est-à-dire le quotient par $\sqrt{3}$ de la tension entre fils).

Ainsi se trouve terminée la correction du diagramme général du moteur Georges pour tenir compte des résistances primaires et secondaires. Il faut encore retrancher du couple et de la puissance motrice les pertes par frottements, ce qui est facile et n'a pas besoin d'être représenté autrement que par le retranchement d'un segment vertical compris entre l'horizontale OM et une autre droite parallèle O'M'.

Un cas particulier intéressant et plus simple de la correction est celui des moteurs compensés de façon qu'il n'y ait pas de décalage à une certaine charge obtenue au synchronisme (comme l'a proposé M. Latour), c'est-à-dire de façon que le point G soit sur l'axe OU. La figure 31 indique la façon dont se présente l'épure dans ce cas.

Non seulement le point b' se trouve alors sur un cercle de centre Q'' obtenu en traçant QQ'' perpendiculaire à OQ et égal à $\frac{r_1}{\sigma\Omega\lambda_1}$ OQ, mais encore le segment b' b'' se trouve proportionnèl constamment à Bb' parce que O est sur le cercle et que par suite l'angle OBM est constant, d'où résulte à son tour la constance de l'angle b'Bb'. En traçant un triangle semblable QQ'Q''', on a donc le centre d'un nouveau cercle sur lequel se trouvent les points b'' dont les ordonnées déterminent les couples.

Pour obtenir les points q'' dont les ordonnées donnent les puissances, il n'y a plus qu'à porter à partir de b'' un segment

$$b''q'' = \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2} \overline{GB} = \overline{Bq}$$

Bq étant le segment intercepté entre le cercle principal et un cercle auxiliaire ayant le diamètre MG pour corde et dont le centre Q' est situé sur la perpendiculaire QQ' dont la longueur est prise égale à

$$\frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2} \text{ GQ.}$$

Les points q'' ainsi déterminés permettent de tracer une dernière courbe $q'q''_0q_2''$, qui sur la figure est sensiblement un cercle de centre P.

Les glissements sont encore donnés par l'expression

$$g = \frac{GB}{q''M} \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2}$$

On remarquera que, plus le diamètre du cercle du point OB augmente, plus augmente aussi la correction de résistance, comme cela est naturel ; celle-ci peut ainsi prendre une importance plus grande dans ces moteurs que dans les moteurs asynchrones ordinaires.

Dans le cas du moteur asynchrone ordinaire, M. Heyland a simplifié cette correction en confondant le point b' avec le point b'', grâce au fait que OC_1 est négligeable devant OB et bC_1 ; autrement dit, il a fait porter la correction de résistance seulement sur la composante du courant primaire C_1B qui annule le courant secondaire ; dans ces conditions l'angle b''OB est constant et égal à

$$\text{tang } \delta' = \frac{r_1}{\sigma\Omega\lambda_1}$$

de sorte que le point b'' est sur un cercle, de même que le point B.

Dans l'épure plus générale que nous donnons, cette simplification approximative n'est plus possible que quand OG et bC sont petits par rapport à OB et CB, par exemple quand G est compris entre O et C sur la ligne OC ; alors en négligeant l'effet des segments GC et OC on pourra admettre que le point b' se confondra avec b'' et sera sur un cercle tracé sur GB comme corde et passant par le point b''.

Cette approximation revient à confondre ensemble les trois droites OB, GB et CB, au lieu que dans le diagramme du moteur asynchrone ordinaire, on n'avait à confondre que OB et CB, car GB alors n'existe pas.

La figure 32 représente comme exemple l'épure applicable à la compensation à vide, dans le cas le plus simple, c'est-à-dire lorsque G se confond avec O. On peut dans ce cas appliquer simplement la correction Heyland, tout en construisant le cercle sur OB comme diamètre ; on peut appliquer la représentation du glissement sur une échelle rectiligne perpendiculaire à Q″M, et le glissement 100 p. 100 est représenté comme d'habitude par le point où cette échelle est coupée par la droite MK tangente en M au cercle de la puissance motrice. Les segments Bb'' et $b''b'$ ont respectivement pour valeurs

$$\frac{r_1 I_1}{\sigma\Omega\lambda_1} \quad \text{et} \quad \frac{r_2 I_1}{\sigma\Omega\lambda_2}$$

et par conséquent les positions des centres Q″ et Q′ sont données par

$$QQ'' = \frac{r_1}{\sigma\Omega\lambda_1} OQ$$

$$Q'Q'' = \frac{r_2}{\sigma\Omega\lambda_2} OQ$$

ou par les procédés antérieurement décrits par M. Heyland.

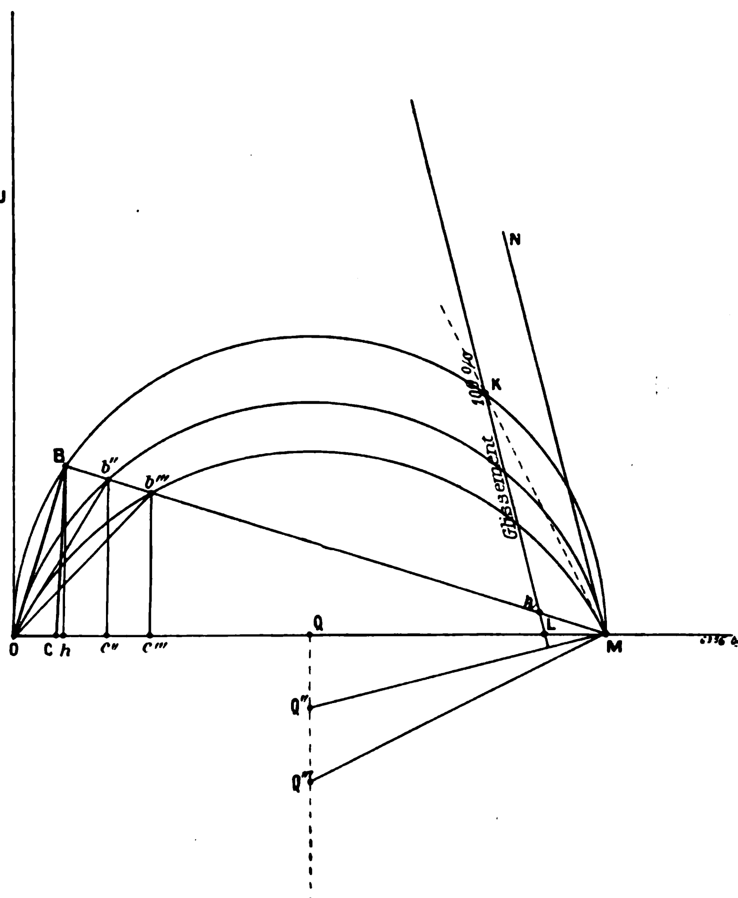


Fig. 32.

P. S. — Dans le numéro du 25 avril dernier, j'ai donné pour la première fois la théorie graphique du moteur Goerges (contenant comme cas particulier les moteurs compensés) caractérisée par ce que le diagramme est un cercle construit sur OG comme diamètre.

Trois mois plus tard, dans le numéro 30 du 23 juillet de l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, M. Heyland a publié sous son nom et sans démonstration le même cercle, avec seulement quelques changements de notation.

(*A suivre.*)

André BLONDEL.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

***Rapport sur les travaux des stations d'électricité atmosphérique de l'Académie de Vienne*, par F. Exner.** *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 90-93, octobre 1902.

Dans les stations de Vienne, de Trieste et de Kremsmünster, on enregistre d'une manière continue le gradient du potentiel électrique et on mesure une fois par jour la déperdition. A Innsbruck, on n'effectue que cette dernière mesure. Une cinquième station est érigée au sommet du Grand Sonnblick. Les enregistreurs construits par le Dr Benndorf fonctionnent mécaniquement, sans intervention de la photographie. Dans toutes les stations, on a employé avec succès les collecteurs à radium.

Station de Vienne. — Dans cette station on a installé côte à côte deux enregistreurs, munis l'un d'une électrode à radium, l'autre d'un collecteur ordinaire à écoulement d'eau. Les courbes des deux instruments sont identiques, à part quelques irrégularités insignifiantes. Abstraction faite des perturbations bien connues produites par la pluie, on reconnaît l'existence d'un minimum du gradient dans la nuit (entre 1 h. et 4 h.) et d'un maximum peu accusé dans l'après-midi.

La déperdition négative est en général prépondérante (elle est négative dans 67 p. 100 des cas, positive dans 33).

Station de Trieste. — Les courbes décèlent une variation diurne de période bien définie, avec deux maxima, l'un vers 9 heures et demie du matin, l'autre vers 7 heures du soir. Les jours où la déperdition négative est prépondérante sont plus nombreux que les jours où la déperdition positive l'emporte (environ 70 p. 100 des premiers, contre 30 p. 100 des autres.

Les jours où la déperdition est surtout positive correspondent avec une probabilité de 0,26 aux temps clairs, avec une probabilité de 0,74 aux temps couverts. Pour les jours où la déperdition est négative, ces probabilités sont respectivement 0,47 et 0,53.

La déperdition croît beaucoup avec la vitesse du vent : elle est surtout active par le vent du nord.

Station de Kremsmünster. — Dans cette station éloignée des grandes villes, les courbes sont plus régulières qu'à Vienne ou à Trieste. Le gradient suit une période simple d'une journée. La déperdition négative est aussi prépondérante (65 p. 100 des jours). On n'a pas observé de relation simple entre la déperdition et la nébulosité du ciel.

Station d'Innsbruck. — Les jours où la déperdition positive l'emporte sont plus nombreux que les autres (58 contre 40). La déperdition est beaucoup plus active quand souffle le fohn ; elle est aussi plus forte en moyenne dans l'après-midi que dans la matinée.

***Recherches sur l'électricité atmosphérique effectuées à Munich en 1901-1902*, par H. Ebert.** *Phys. Z.*, t. IV, p.93-96, octobre 1902.

MM. Lutz et Ruf ont mesuré la conductibilité de l'air par la méthode de déperdition avec différents instruments, modifications de ceux d'Elster et Geitel. Ces instruments étaient tantôt découverts, tantôt munis d'un toit : la cage de toile métallique était isolée ou dans d'autres cas reliée au sol. Les mesures sont effectuées simultanément sur deux appareils.

Au printemps, on avait observé à différentes reprises qu'en reliant au sol le toit, enlevant ensuite la communication et isolant l'appareil de la déperdition changeait de polarité. En été cette observation ne s'est pas renouvelée.

Les indications de l'appareil d'Elster et Geitel ont été traduites en unités absolues. Les valeurs ainsi obtenues pour l'intensité du courant d'électrons s'accordent avec ceux que Rutherford et Ebert ont trouvés par d'autres méthodes.

Les courants d'air ascendants augmentent le nombre des ions, surtout des ions positifs. En effet on observe une déperdition plus rapide que la normale : 1° quand il se produit un mouvement anticyclonique ; 2° quand souffle le fohn

Pendant les journées claires de l'été et de l'automne la conductibilité unipolaire, c'est-à-dire le quotient des deux vitesses de déperdition $q = \frac{a_n}{a_p}$ présente nettement une période diurne avec un maximum vers 9 heures du

matin, un minimum entre 11 heures et midi, un maximum entre 3 heures et 4 heures de l'après-midi. Parfois on observe au coucher du soleil un maximum subit.

Au moment de la chute de la rosée, q croît rapidement sans que a_n varie beaucoup. C'est dire que le nombre des ions négatifs diminue dans les couches d'air voisines du sol, sans doute parce qu'ils sont entraînés plus facilement pendant la condensation.

Dans les bois touffus, la déperdition est faible et la même pour les deux signes. Le voisinage d'un bouquet d'arbres ou d'un groupe de maisons éloignés de l'appareil de moins d'une vingtaine de mètres diminue aussi la déperdition. La plupart du temps, la déperdition prend des valeurs très élevées avant les orages.

Au voisinage immédiat des bords des lacs ou des mares, tout à fait tranquilles, la déperdition négative prend des valeurs extraordinairement élevées (observations faites sur les rives du lac de Starnberg).

A Schaufling, près Deggendorff dans la Basse-Bavière, on a observé fréquemment aussi la périodicité diurne de q. Souvent aussi, le vent du nord-est soufflant par-dessus le Bayerischer Wald provoque une augmentation brusque de q comme le föhn.

On a étudié la conductibilité de l'air dans une cave de 500 m³, où on avait vérifié que ne se trouvait aucune substance radioactive et où on avait évité d'introduire des flammes ionisantes. La déperdition fut trouvée très grande, pour retomber à la valeur trouvée normalement dans l'air atmosphérique, après qu'on eût renouvelé l'air de la cave. En moyenne, la déperdition positive était plus grande que la déperdition négative. Ce résultat confirme que la vitesse de migration des ions négatifs est plus grande que celle des ions positifs.

Dans cet air fortement ionisé, les fils métalliques deviennent radioactifs (radioactivité induite); cette radioactivité diminue suivant la loi qu'ont découverte Rutherford et Allen.

Sous l'influence du champ créé par un pareil fil, la déperdition négative diminue, tandis que la déperdition positive augmente.

Les expériences effectuées sous des cloches avec le gaz carbonique, le gaz d'éclairage et l'oxygène ont donné à peu près les mêmes résultats que les expériences faites dans l'air. En particulier, la déperdition augmente avec le temps.

1. ***Appareil transportable pour mesurer la radioactivité de l'air atmosphérique.***
2. ***Expériences effectuées sur la radioactivité sur l'air atmosphérique par les potentiels positifs.***
3. ***Expériences sur la déperdition électrique dans l'air,*** par **J. Elster** et **H. Geitel**. *Phys. Z.*, t. IV, p. 96-99, octobre 1902.

1. L'activité mesurée par la déperdition est proportionnelle à la longueur du fil, indépendante du diamètre tant que celui-ci est inférieur à 1 mm. Au-dessus de cette limite, les gros fils donnent dans les espaces fermés des nombres un peu plus élevés.

L'activité ne dépend pas de la nature du fil, ni pour les fils fins, du potentiel auquel ils sont portés.

Le coefficient d'activité A est le nombre de volts dont baisse, pendant l'unité de temps, le potentiel du conducteur placé dans l'enceinte fermée, sous l'action d'un fil dont la longueur est égale à l'unité.

On posera $A = 1$, quand un fil de 1 m provoque en une heure une diminution de potentiel de 1 volt.

Dans les espaces fermés, A est d'autant plus grand que le coefficient de déperdition a est lui-même plus grand. Par exemple, on a trouvé, dans des édifices divers :

A	a
2 800	?
1 800	30 p. 100
400-800	4-9 p. 100
370	3-4 p. 100
50	2 p. 100
14	0,5 — 1 p. 100

A l'air libre, les phénomènes sont plus compliqués.

Il n'y a pas de relation simple entre A et a, ni entre A et les circonstances météorologiques.

Le champ électrique terrestre est susceptible aussi d'induire la radioactivité. Les couches d'air voisines du sol sont sans cesse traversées par des rayons de Becquerel qui provoquent constamment la formation de nouveaux ions.

L'appareil transportable destiné à l'étude de cette radioactivité comprend :

Un électromètre à déperdition.

Une pile sèche de Zamboni donnant 2 300 volts.

****

Un électroscope transportable à haute tension, d'après le système de Braun, mais isolé à l'ambre et desséché au sodium.

Un cylindre de toile métallique, sur lequel est enroulé un fil d'environ 20 m, qu'on peut introduire dans le cylindre extérieur de l'électromètre.

Deux supports pour les fils, en ébonite, desséché par du sodium.

2. Un fil chargé positivement est susceptible d'induire la radioactivité comme un fil négatif; mais l'effet est environ trente fois plus faible (A = 26 au lieu de 820). Le plomb, le cuivre, le platine, l'aluminium, le chanvre donnent les mêmes résultats.

A l'air libre, on ne constate aucune radioactivité.

3. Dans de l'air exempt de poussières, tenu longtemps enfermé, la déperdition subit une diminution notable, sous l'influence d'un champ extérieur même inférieur à $1 \frac{\text{volt}}{\text{cm}}$.

L'appareil de déperdition, muni de son toit protecteur, est disposé sur une plaque de métal reliée au sol : il est entouré d'un anneau de toile métallique isolé.

Le tout est recouvert d'une cloche de verre. A l'aide d'une tige qui glisse dans une tubulure de la cloche on peut charger le conducteur à déperdition et l'anneau de toile métallique ou les mettre en communication avec le sol.

Le premier jour après l'installation, la vitesse de déperdition est de 33,5 volts par heure : elle augmente peu à peu, et, au bout de six jours, atteint son maximum, 67 volts par heure. Il suffit de charger la cage de l'instrument et de l'anneau à 2 volts pour faire retomber cette vitesse à 50 volts; si on charge à 32 volts, la vitesse de déperdition se réduit à 25 volts par heure.

Quand l'instrument est entouré d'une cage de toile métallique, la déperdition dépend beaucoup plus du signe de la charge dans l'air des caves que dans l'air libre (dans le rapport de 65 : 1). La différence diminue avec le potentiel de charge de la cage, mais reste encore appréciable pour un potentiel de 1 volt. La polarité de la déperdition observée à l'air libre ne provient donc pas forcément d'une surabondance de l'une des espèces d'ions, mais tout aussi bien d'un champ extérieur, en particulier du champ terrestre.

Les expériences effectuées pour déceler la source de la radioactivité de l'air atmosphérique sont restées sans résultat. Le rôle présumé de l'eau oxygénée ne s'est pas confirmé. Il n'est pas possible non plus d'extraire de substance radioactive de l'eau.

La radioactivité induite par l'air atmosphérique peut troubler les mesures de déperdition. Il semble que cette radioactivité des pièces métalliques peut se conserver d'une expérience à l'autre. On s'expliquerait ainsi que les appareils de déperdition en usage depuis quelque temps donnent toujours des coefficients de déperdition plus élevés que ceux nouvellement construits.

Pour éliminer les erreurs de parallaxe dans la lecture de l'électroscope Exner, l'échelle de papier est supprimée : la surface intérieure de la cage est argentée et en face se trouve une échelle sur verre dépoli dont l'image se forme exactement dans le plan du bord antérieur des feuilles.

M. L.

DIVERS

***Sur un tube de Roentgen à « degré de dureté » variable*, par A. Wehnelt.** Mémoire présenté à la Société allem. de Phys. ; voir les *Verhandlungen*, p. 259-260, 30 juillet 1903.

La mesure usuelle du « degré de dureté » d'un tube de Röntgen est la valeur du potentiel de décharge, ou plutôt, à défaut de valeurs absolues, la longueur d'étincelle entre une pointe comme pôle positif et une plaque comme pôle négatif. — Dans un précédent travail, l'auteur a fait voir que le potentiel de décharge d'un tube pareil est fonction non pas seulement de la pression et de la distance des électrodes, mais encore, et à un degré considérable, de la position de la cathode relativement aux parois du tube.

Lorsque par exemple une cathode K (fig. 1 *a*) se trouve disposée, soit librement, soit à l'intérieur d'un tube de décharge sphérique R (fig. 1 *b*), le potentiel de décharge sera bien supérieur dans ce dernier cas.

Si le tube de verre est susceptible d'un déplacement mécanique, l'on est en mesure de varier le potentiel de décharge d'un tube pareil dans des limites assez étendues, sans pour cela modifier le degré de vide. Ce fait vient d'être utilisé, sur le conseil de l'auteur, pour la construc-

tion d'un tube de Röntgen à degré de dureté variable.

Le tube construit par M. E. Berger et que représente la figure 2 se distingue des types courants par le tube R qui peut se placer sur la cathode et dont le diamètre n'est que peu supérieur à celui de cette dernière. R se termine par derrière par un tube plus étroit S, glissant sur le tube entourant la tige cathodique.

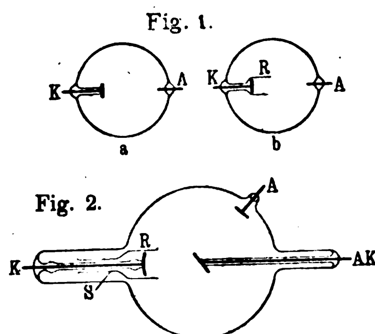


Fig. 1 et 2.

En penchant le tube et en frappant doucement la tige cathodique, on déplace le tube R, de manière à en couvrir une portion plus ou moins grande de la cathode.

La longueur d'étincelle nécessaire à actionner le tube peut être variée jusqu'à huit fois sa valeur initiale, au moyen de ce simple dispositif. Aussi l'on pourra employer un même tube, sans modifier le vide, pour produire sur l'écran la projection de parties du corps d'une épaisseur variable. A. Gradenwitz.

Chute de potentiel cathodique dans les lueurs : ses relations avec la température, l'intensité et la pression du gaz, par **J. Stark**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 3-31, août 1903.

La chute de potentiel qui se produit au voisinage immédiat de la cathode est dite normale quand la lueur négative recouvre toute la surface de la cathode, anormale dans le cas contraire. La chute normale est indépendante de l'intensité du courant et de la pression du gaz.

Pour la chute anormale, les expériences de G. C. Schmidt, de Skinner, de Hehl ont donné des résultats contradictoires.

Dans les expériences de J. Stark, l'anode est assez rapprochée de la cathode pour que la lumière positive fasse complètement défaut et aux basses pressions la lueur négative entoure complètement l'anode. Dans ces conditions, l'intensité du courant ne dépend plus que de la chute de potentiel cathodique, qui devient sensiblement égale à la différence de potentiel entre les électrodes.

Le récipient est un ballon de 1,5 litre environ de capacité ; la cathode en forme de fil pénètre suivant un rayon, jusqu'au centre : l'anode dirigée suivant le même diamètre, fait très peu saillie sur la paroi. Une sonde recouverte de verre jusqu'à 2 mm de son extrémité, est disposée suivant le diamètre perpendiculaire à la cathode.

Le circuit comprend une batterie d'accumulateurs, un rhéostat liquide (alcool amylique et iodure de cadmium), un interrupteur, le récipient à décharges, un téléphone, un microampèremètre : le pôle négatif de la batterie d'accumulateurs est relié au sol. La sonde est reliée à un électromètre de Braun. Le récipient renferme de l'air desséché par de l'anhydride phosphorique : les vapeurs de mercure sont retenues par un tube à soufre.

Il faut éliminer diverses causes d'erreur. Le verre de la paroi qui entoure la cathode peut devenir conducteur, soit par suite de l'élévation de température, soit par suite du dépôt métallique qui résulte de la pulvérisation de la cathode. Il s'ensuit une augmentation de la surface de la cathode. On y remédie en évitant tout contact de la cathode avec le verre.

La densité du courant ne tombe pas immédiatement à zéro au voisinage de la cathode, mais la diminution se produit sur un espace d'autant plus long que la pression du gaz est plus faible. La base de la lueur négative se contracte et s'éloigne du verre d'autant plus. Cette contraction croît avec le rapport de la ligne commune au verre et au métal à la surface libre de la cathode. Pour cette raison, on emploie une cathode en forme de fil.

La paroi et la sonde doivent être assez éloignées de la cathode pour que la région obscure ne les atteigne jamais.

Il est essentiel aussi que la surface de la cathode soit homogène, puisque la chute de potentiel et la densité de courant normales dépendent de la nature du métal. Le platine est le métal qui convient le mieux.

La cathode est insérée dans un circuit auxiliaire qui permet de déterminer sa résistance, d'après laquelle on calcule sa température.

Si K désigne la chute de potentiel cathodique dans la décharge par lueurs, K_n, la chute de potentiel normale, i l'intensité du courant p, la pression du gaz, S la surface de base de la lueur négative, k' et $\varkappa'$ des constantes, on a : dans une première approximation :

$$K = K_n + \frac{k'}{p\sqrt{S}} \sqrt{(i - \varkappa' p S)} ;$$

K_n est à peu près indépendant de la température (G.-C. Schmidt et J. Stark).

Sous l'influence du courant, la cathode s'échauffe. La température à la base de la lueur négative et la densité du courant croissent avec la pression du gaz, la première moins vite que la seconde. La température atteinte par la cathode est d'autant plus élevée que le produit Ki est plus grand.

De cette élévation de température résulte un accroissement de la chute de potentiel.

La densité de courant normale est proportionnelle à la pression du gaz

$$j_n = \varkappa p$$

mais diminue quand la température s'élève ; car l'intensité totale reste constante tandis que la section des lueurs augmente. La diminution est d'abord rapide, puis plus lente.

D'après la forme des courbes qui représentent j_n en fonction de la température absolue T_n, il est probable que j_n est inversement proportionnel à la température absolue.

$$j_n = \varkappa \frac{p}{T} \cdot$$

En comparant cette relation à la précédente, on trouve :

$$K = K_n + \frac{k'}{p\sqrt{S}} \sqrt{i - \frac{\varkappa p S}{T}} \qquad (2)$$

Mais il est possible que k' dépende encore de la température. D'après les mesures, la chute de potentiel anormale croît quand la température s'élève, les autres circonstances restent les mêmes. La différence K — K_n et par suite le coefficient k' sont proportionnels à la température absolue T. L'équation (2) prend alors la forme :

$$K = K_n + \frac{kT}{p\sqrt{S}} \sqrt{i - \frac{\varkappa p S}{T}}$$

En prenant K et i comme coordonnées, cette équation représente une parabole.

L'élévation de la température du gaz produite par le courant provoque deux changements dans ces courbes : le sommet de la courbe se rapproche de l'axe des K et le paramètre $\frac{kT}{2p\sqrt{S}}$ augmente.

Lorsque la cathode devient incandescente, il se dégage du gaz : et les phénomènes se modifient par suite de la variation de pression.

La théorie de l'ionisation conduit à la formule établie ci-dessus par l'expérience. On peut donc résumer les résultats en disant : En ce qui concerne la chute de potentiel cathodique dans les lueurs, un abaissement de température et un abaissement de pression sont équivalents l'un à l'autre, pourvu qu'ils réalisent au voisinage de la cathode la même concentration des molécules. A cette même condition, elles s'équivalent dans leur effet sur les dimensions de la région obscure et de la lueur négative.

Pour obtenir la relation entre K et i, il ne suffit pas de faire varier i en maintenant les autres paramètres constants, parce que la température de la cathode varie avec i. La fonction qui relie K et i n'est pas une fonction linéaire. La courbe représentative se rapproche d'autant plus d'une droite que le produit Ki, c'est-à-dire l'énergie électrique dépensée est plus grande : surtout quand la pression est grande. S'il n'y avait pas élévation de température de la cathode, la courbure serait encore plus prononcée (concavité vers l'axe des i), puisque cette élévation de température entraîne une augmentation de la chute de potentiel cathodique.

Les courbes qui représentent la variation de K en fonction de p ont à peu près la forme d'hyperboles équilatères.

Pour les gaz autres que l'air, on peut essayer la formule généralisée sous la forme :

$$K = K_n + \frac{kT^m}{p^m S^q} \left(i - \frac{\varkappa p^n S}{T^n}\right)^q$$

il s'agirait de déterminer par l'expérience les constantes K_n, k, $\varkappa$, m, n, q. M. L.

Chute de potentiel à la cathode dans la lueur négative dans un champ magnétique, par **J. Stark**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 32-52, août 1903.

Le dispositif expérimental est le même que

celui qui a été décrit dans le mémoire précédent. On produit à l'aide de bobines un champ magnétique qui est uniforme dans la région occupée par la lueur négative.

Le champ magnétique n'exerce aucune action sur un rayon cathodique ou ligne de courant parallèle à une ligne de force magnétique : mais il tend à ramener dans la direction générale du faisceau les rayons secondaires provenant de la diffusion des rayons primaires. Il en résulte que le champ magnétique augmente le nombre des lignes de courant négatif parallèles à sa propre direction : le faisceau est forcé de garder une section égale à celle qu'il présente à son origine sur la cathode.

Les rayons cathodiques dont la vitesse a une composante normale à la direction du champ magnétique, sont déviés : leur mouvement transversal se transforme en un mouvement circulaire autour des lignes de force. Ces rayons sont maintenus ainsi au voisinage de la cathode où ils sont absorbés par le gaz. A cet égard le champ magnétique agit comme une augmentation de pression.

L'absorption des rayons n'ayant plus lieu dans la même région, la surface de la cathode recouverte par les lueurs diminue. Mais si l'action du champ magnétique sur les rayons-canal devient prépondérante, elle entraîne au contraire une augmentation de cette surface.

En présence d'un champ magnétique perpendiculaire à la direction du faisceau cathodique, la lueur négative se partage en deux portions séparées par une partie à peu près obscure : autour desquelles se produisent des anneaux de lumière positive . Si la cathode est longue et le champ magnétique intense, le nombre des anneaux peut être trois et même davantage. Autour de chaque anneau (le premier excepté) de lueur négative est enfilé en quelque sorte un anneau de lumière positive. Toutes choses égales d'ailleurs, le nombre des anneaux négatifs augmente avec l'intensité du courant. Pour une même intensité du champ magnétique et du courant, la longueur de chaque anneau négatif augmente quand la pression du gaz baisse. A courant et à pression constants, elle diminue quand le champ magnétique devient plus intense.

La présence du champ magnétique modifie la forme des courbes qui représentent la chute de potentiel K en fonction de l'intensité i. La constante K_n de la formule (*cf* le mémoire précédent) est indépendante du champ magnétique, quelle qu'en soit la direction.

Mais la surface S de la cathode recouverte par la lueur négative est fonction de l'intensité H du champ magnétique : S diminue quand augmente l'intensité du champ normal au faisceau cathodique, augmente au contraire avec l'intensité du champ si celui-ci est parallèle au faisceau (perpendiculaire à une cathode plane très voisine de la paroi). Dans le premier cas, i augmente et par suite aussi la densité $j_n = \frac{i}{S}$: dans le second cas, j_n augmente encore, parce que i augmente plus rapidement que S, mais l'augmentation est moindre. Il est à remarquer d'autre part que dans le champ magnétique la répartition de la densité du courant devient en général irrégulière. La densité normale j_n est aussi accrue par la présence du champ magnétique. Comme d'autre part,

$$j_n = \varkappa p,$$

il faut que le coefficient $\varkappa$ soit fonction de l'intensité H du champ. Mais la densité limite entre la chute cathodique normale et anormale est indépendante d'un champ magnétique transversal.

Quand le champ magnétique est normal aux rayons cathodiques, la surface S est fonction de l'intensité H du champ et ne peut être maintenue constante quand on fait varier celle-ci. Pour obtenir au moins que i et par suite $(i - \varkappa p S)$ soit constant, on détermine pour chaque valeur de H deux ou trois couples de valeurs de K et de i. Par interpolation graphique on déduit de là les valeurs de K qui pour une seule et même valeur de i correspondent à différentes valeurs de H.

Les courbes représentant K en fonction de H se composent toutes d'une branche descendante et d'une branche ascendante. La branche descendante présente un point d'inflexion, ce qui tient probablement à l'influence du magnétisme rémanent. L'intensité du champ magnétique pour laquelle K devient minima de dépend pas de l'intensité du courant.

Ce minimum correspond en effet à la condition :

$$\frac{d}{dH}\left(\frac{k}{p\sqrt{S}}\right) = 0.$$

Cette équation ne renferme plus l'intensité i : résultat que vérifient les expériences :

La forme des courbes fait présumer que le champ magnétique exerce sur la chute de potentiel cathodique deux effets différents de sens contraire : l'un tendant à la diminuer, qui prévaut dans les champs peu intenses (branche descendante de la courbe), l'autre tendant à l'augmenter et qui prédomine dans les champs intenses (branche ascendante). Il est aisé de voir que ces deux effets correspondent aux variations $\frac{dk}{dH}$ et $\frac{dS}{dH}$ qui sont toutes deux négatives.

Si le champ magnétique est transversal, c'est-à-dire perpendiculaire à la direction du faisceau cathodique, et la cathode très voisine de la paroi de verre, le facteur k n'est que peu ou point modifié par ce champ. Si les rayons cathodiques sont parallèles à la direction du champ, la chute de potentiel cathodique normale ou anormale est indépendante du champ. Mais ce parallélisme est difficile à réaliser pour tous les rayons, sauf dans un champ assez intense. Aussi K diminue d'abord et ne devient constant qu'à partir d'une certaine intensité du champ. Dans un champ oblique, les phénomènes sont plus compliqués et présentent d'ailleurs moins d'intérêt ; il suffit de remarquer que l'action du champ sur la chute de potentiel cathodique varie avec son orientation. M. L.

Ionisation de l'air par l'eau, par **F. Himstedt**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 107-124, août 1903.

Un conducteur électrisé en communication avec un électroscope, se trouve à l'intérieur d'un grand récipient de verre, complètement enveloppé d'une toile métallique qui est reliée au sol. Cette toile forme un écran électrique parfait. Si on fait pénétrer dans le récipient l'air fourni par une trompe à eau soufflante, la déperdition devient immédiatement beaucoup plus rapide. Cet accroissement de rapidité n'est pas dû à l'augmentation d'humidité, car si on arrête le courant d'air, on constate que l'isolement de l'électroscope est aussi rigoureux qu'auparavant.

Il faut l'attribuer à la conductibilité de l'air qui a traversé la trompe.

Cette conductibilité subsiste quand on a fait disparaître l'électrisation possible de l'air en la faisant passer à travers plusieurs tampons de « ouate de cuivre [1] », reliés au sol et séparés par des tampons de coton.

On communique à l'air une pareille conductibilité en le faisant traverser une colonne de coke ou de sable grossier humide, ou encore un tube rempli de coton de verre, qu'on a plongé dans l'eau et laissé égoutter, ou simplement un série de flacons laveurs contenant de l'eau. Dans ce dernier cas, le résultat est à peu près le même avec l'eau distillée, l'eau de pluie, l'eau des conduites ; une addition de NaCl, de $CuSO^4$ ou de H^2SO^4 n'apporte pas de changement sensible. Par contre, on n'obtient aucun résultat en mettant dans les flacons laveurs du pétrole, de l'huile de vaseline ou du benzène : le nitro-benzène et l'alcool provoquent aussi un accroissement appréciable de la conductibilité de l'air ; peut-être seulement à cause des traces d'eau qu'ils renferment.

En traversant un champ électrique intense, l'air perd quelque peu de sa conductibilité, par suite de la perte des ions ; mais ceux-ci se régénèrent très rapidement.

On peut dessécher l'air sans que cette dessiccation influe sur la conductibilité ; mais celle-ci disparait complètement quand il a traversé un serpentin plongé dans l'air liquide. En laissant ensuite le serpentin se réchauffer, on obtient de nouveau de l'air conducteur. Dans quelques expériences, on a cru observer sur les parois du serpentin quelques cristallisations très fines. Jusqu'ici les tentatives faites pour isoler l'agent actif condensé dans le serpentin sont restées infructueuses.

On pourrait expliquer les phénomènes décrits ci-dessus en admettant que l'eau exerce sur l'air comme sur les acides et les bases une action dissociante. La conductibilité croît avec la pression sous laquelle l'air s'écoule à travers l'eau, parce que l'air est en contact plus intime avec l'eau, ce qui augmente l'action ionisante. Le mélange de l'air et de l'eau donne naissance à des molécules aisément ionisables : l'eau ainsi fixée doit être dans un état de division moléculaire extrême, ce qui expliquerait pourquoi l'air ne perd pas sa conductibilité en passant sur les desséchants comme l'anhydride phosphorique.

[1] Cuivre en copaux, extrêmement fins analogues au coton de verre.

L'air atmosphérique conduit à travers le serpentin plongé dans l'air liquide perd le 1/3 environ de sa conductibilité. Il retrouve cette conductibilité quand on laisse se réchauffer le serpentin, tout comme l'air soufflé par la trompe.

La conductibilité élevée que MM. Elster et Geitel ont trouvée dans l'air des caves et du sol, peut être attribuée à la même cause. M. L.

Sur la double réfraction magnétique découverte par M. Majorana, par **A. Schmauss**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 186-195, août 1903.

Une dissolution de fer de Bravais est mélangée d'une dissolution de gélatine, qui se prend peu à peu. La double réfraction subsiste après la suppression du champ magnétique d'autant plus longtemps que la dissolution est devenue plus visqueuse. À un moment donné, elle devient permanente : la dissolution est encore plastique et peut être versée. Quand on agite la dissolution, sa biréfringence disparaît immédiatement.

La biréfringence subsiste aussi quand on laisse sécher la dissolution sur une lame de verre dans le champ magnétique.

On constate encore que dans une dissolution de gélatine visqueuse la biréfringence n'acquiert sa valeur définitive qu'après un certain temps.

Si on augmente la proportion de gélatine jusqu'à ce que la dissolution fasse prise, celle-ci cesse de devenir biréfringente dans le champ magnétique.

Quand il n'y a pas de gélatine, la dissolution acquiert dans le champ magnétique une biréfringence négative très accusée ; cette biréfringence diminue quand la température s'élève, s'annule à une certaine température et devient ensuite positive.

L'addition d'alcool et de glycérine ne modifie guère la biréfringence, qui subit au contraire une diminution notable quand on introduit de la gomme arabique.

En ajoutant au fer de Bravais quelques gouttes d'une dissolution de chlorure ferrique, on augmente énormément la biréfringence : mais au bout de quelques minutes, la dissolution se trouble et la biréfringence disparaît. La température à laquelle elle s'annule est plus élevée que pour les dissolutions additionnées d'alcool, de glycérine ou de gomme : elle est à peu près la même pour ces trois dernières.

De ces observations, on conclut que le phénomène découvert par Majorana peut s'expliquer par l'orientation des particules en suspension sous l'influence du champ magnétique. La biréfringence est proportionnelle au carré de l'intensité du champ : or le couple exercé par le champ magnétique sur les particules est aussi proportionnel à ce carré.

L'influence de la température serait due à la variation inégale de la perméabilité magnétique du liquide et des particules en suspension.

L'émulsion de mastic, les dissolutions de savon, de silice et de soufre, d'argent et d'or n'acquièrent aucune biréfringence magnétique.

M. L.

Méthode pour étudier la conductibilité des gaz, par **E. Harms**. *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 11-15, octobre 1902.

Cette méthode consiste à construire la courbe de déperdition d'un conducteur chargé, isolé dans le gaz dont on se propose de déterminer la conductibilité. On peut s'affranchir des défauts d'isolement de l'appareil de mesure en n'établissant la communication entre ce dernier et le conducteur qu'au moment même de chaque mesure. De plus il est aisé de choisir un conducteur dont la capacité soit connue en fonction des dimensions géométriques.

Le conducteur est une boule de cuivre noirci suspendue à un fil de verre : on la charge à un potentiel déterminé en la reliant à une batterie d'accumulateurs. On enlève ensuite le fil de communication, et, au bout d'un certain temps mesuré, on le relie à l'électromètre : celui-ci est disposé de manière que la déviation soit proportionnelle à la charge du conducteur. Mais le potentiel de la boule s'abaisse trop pour qu'on puisse recommencer l'expérience. On la recharge au potentiel primitif et on la met en communication avec l'électromètre au bout d'un intervalle de temps différent du premier.

Il est nécessaire d'empêcher les charges électriques autres que celles de la sphère d'arrivée à l'électromètre. Les fils de communication doivent être soigneusement isolés et ceux qui ont été reliés à la source ne doivent pas venir en contact avec l'électromètre. Quand le potentiel de charge atteint 70 volts, l'intensité du courant est à peu près indépendante de ce potentiel.

Dans l'air sec, Harms a trouvé qu'en une seconde disparaissait par centimètre cube 1,80

10^{-8} unités électrostatiques. D'après J.-J. Thomson, la charge d'un ion est

$$6.5\ 10^{-10} \text{ u. él.st.}$$

Par conséquent, à la température de 18° de l'expérience par seconde et par centimètre cube disparaissent et sont régénérés

$$\frac{1.80.10^{-8}}{6.5\ 10^{-10}} = 28 \text{ ions.}$$

Wilson a trouvé à 15° 14 ou 19 ions, nombres qu'il croit un peu faibles. La différence peut être due au moins en partie à la différence des températures. M. L.

Contribution à l'étude des phénomènes qui se produisent dans la machine de Holtz, par **K.-R. Johnson.** *Physikalishe Zeitschrift*, t. IV, p. 298-302, février 1903.

On admet en général que l'intensité du courant dans l'étincelle est la même que dans le circuit métallique, au voisinage des pôles. Mais on trouve des valeurs très différentes suivant qu'on mesure cette intensité par un électrodynamomètre ou un galvanomètre. L'électrodynamomètre accuse en effet, le courant réfléchi sur les pôles, lequel ne traverse pas l'étincelle. En introduisant dans le calcul l'une ou l'autre de ces valeurs, on trouve pour la résistance de l'étincelle une fraction d'ohm ou quelques centaines de mégohms.

Comme l'a démontré déjà Faraday, les lignes d'induction électrostatique peuvent contourner les écrans métalliques et provoquer l'apparition d'une charge induite sur les conducteurs placés derrière ces écrans.

L'expérience de Faraday peut être répétée sous la forme suivante :

Une machine de Holtz a l'un de ses conducteurs relié au sol et l'autre isolé : les pôles sont assez écartés pour qu'il ne passe aucune étincelle. Un électroscope est placé à une distance de la machine variant entre 2 et 5 m. Cet électroscope se charge quand on fait fonctionner la machine, même si on interpose entre les deux un écran métallique en forme de demi-cylindre. Elle cesse de se produire seulement quand l'écran est assez rapproché de l'électroscope pour que le bouton de l'instrument se trouve sur l'axe de l'écran.

Si on décharge le conducteur de la machine en éliminant toute charge résiduelle, et l'électroscope, les feuilles divergent de nouveau quand on déplace l'instrument de manière à le rapprocher de la machine. Le champ électrique créé par le conducteur ne disparaît donc pas immédiatement quand on décharge celui-ci.

Quand on laisse éclater les étincelles, l'électroscope n'accuse plus de charge qu'au voisinage de la machine (à 60 ou 70 cm), et encore cette charge est très faible. Les feuilles retombent aussitôt qu'on arrête la machine. Lorsque les étincelles sont longues, le mouvement des feuilles est plus prononcé : ce mouvement est pendulaire et chaque feuille effectue à chaque étincelle une demi-oscillation.

Ce mouvement pendulaire montre qu'il s'agit d'un phénomène électrodynamique. En fait, les conducteurs et les condensateurs de la machine représentent un excitateur de Lecher. Les peignes jouent le rôle des fils adducteurs, les armatures internes forment le circuit primaire et les armatures externes le circuit secondaire. En remplaçant le fil qui relie celles-ci par un système de deux fils parallèles, aboutissant aux deux armatures d'un autre condensateur, on peut mettre en évidence le long des fils des nœuds et des ventres, même au moyen de l'électroscope. Il est probable que ces phénomènes électrodynamiques font partie intégrante des décharges et que les potentiels explosifs mesurés jusqu'ici représentent les valeurs « efficaces ». On démontre encore la production de ces phénomènes électrodynamiques en faisant passer les décharges dans un voltamètre à eau acidulée. On recueille à chaque électrode le mélange tonnant. La quantité de ce mélange croît avec la longueur de l'étincelle, diminue quand augmente la conductibilité de l'électrolyte ou la surface des électrodes. Ceci suppose d'ailleurs que les étincelles n'éclatent pas dans l'électrolyte, ce qui arrive quand l'électrolyte est très dilué et les électrodes très fines.

Enfin les expériences vérifient comme l'a trouvé M. Malagoli, que la décomposition de l'électrolyte par un courant alternatif, ne se produit que si la quantité d'électricité mise en mouvement dans chaque période est supérieure à une certaine limite. Si I_0 est l'amplitude du courant, T la période, il faut que :

$$\frac{I_0 T}{2\pi} > Q_0$$

M. L.

Le Gérant : **C. NAUD.**

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES [1]

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et Généralités.

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

[1] Les titres des matières publiées dans la *Littérature des Periodiques et des Brevets* sont suivis des indications (*p*) ou (*b*); les analyses publiées dans la *Bibliographie* sont indiquées par un (B).

Oscillations hertziennes.

Rayons cathodiques, Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.

Électro et Magnéto-optique.

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'énergie électrique.

Transmission et Distribution.

Applications mécaniques.

Traction et Propulsion.

Télégraphie et Téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES

DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.

Expositions, Congrès, Laboratoires.

Divers.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

C

D

E

F

L

M

T

V, W

Z

[redacted] Samedi Juillet 4 1903. 10e Année. — N° 27.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Exposition Universelle de Saint-Louis (***Congrès international des Savants***). — A la dernière séance de l'Académie des sciences, M. Newcomb a fait connaître en ces termes le but et l'organisation du Congrès qui doit s'y réunir.

« A notre Exposition universelle de Saint-Louis, destinée à célébrer la cession par la France d'un territoire qui est aujourd'hui le tiers de notre domaine, on fait de grands préparatifs pour réaliser une réunion de savants éminents, différente de ce qu'on a conçu jusqu'ici. Il s'agit d'un Congrès des représentants de toutes les grandes branches des connaissances humaines, se proposant de discuter les relations mutuelles des sciences, les progrès de chacune d'elles pendant le siècle écoulé, et leurs applications aux besoins de l'homme. Le but serait d'unifier les nombreuses branches de l'activité scientifique, de manière à en faciliter la coordination.

» Pour assurer le succès d'un tel projet, il faut avoir un plan dont tous les détails soient fixés d'avance. A cet effet, les Directeurs de l'Exposition ont organisé un Comité administratif et plusieurs Conseils des hommes éminents de notre pays, pour arrêter un programme et procéder à l'organisation du Congrès. Voici l'idée générale du plan :

» Le Congrès s'assemblera le 19 septembre 1904. On a choisi cette époque, parce qu'alors les chaleurs de l'été sont passées et le climat, quoique de temps en temps assez chaud, ne cesse d'être agréable. Les professeurs d'Europe et d'Amérique auront le temps d'assister au Congrès et de revenir ensuite chez eux à temps pour reprendre leurs cours.

» Le matin du premier jour, cérémonies d'ouverture, organisées par les autorités de l'Exposition. Ces cérémonies doivent se terminer par un discours sur l'unité des sciences et l'objet du Congrès. L'après-midi du même jour, le Congrès se séparera en sept grandes divisions, dont quatre définissent les domaines de nos connaissances, et trois s'occupent des applications de ces connaissances aux besoins de l'homme.

» Le deuxième jour, des discours seront prononcés en 26 départements des sciences et de leurs applications. Ces discours seront d'un caractère général et formeront comme une introduction aux discussions ultérieures.

» Les quatre jours suivants, le Congrès se séparera en 130 sections environ, dont chacune constituera une branche en relation avec les autres. A chacune de ces sections deux discours seront prononcés sur les relations du sujet et les problèmes du jour.

» En assemblant ce Congrès, les Directeurs de l'Exposition désirent élever un monument durable, en une série de volumes dans lesquels des savants éminents montreront l'unité de la Science et en esquisseront l'état au commencement du vingtième siècle. Leur vœu est que la France prenne une part importante dans ce Congrès, et ma mission ici est de porter aux savants français leur invitation la plus cordiale d'y assister. Vu la part que la France a prise dans les événements historiques que l'Exposition est destinée à célébrer, nous espérons que ce vœu obtiendra une réponse favorable, tant de la part du Gouvernement que de celle des membres éminents de l'Institut de France, et des savants de tout votre pays. »

Exposition du Nord de la France (***Arras, 1904***). — Cette exposition, placée sous le haut patronage du Président E. Loubet, se tiendra du 1er mai au 4 octobre 1904.

Organisée de manière à faire une large part aux industries de la région septentrionale de la France, elle sera particulièrement consacrée aux procédés, produits et outillages des industries des mines, de l'éclairage et du chauffage, de l'alcool et de ses applications industrielles, etc.

Les règlement, programme et classification sont envoyés sur demande à l'Hôtel de Ville d'Arras.

Parmi les diverses classes qui présentent un intérêt plus spécial pour nos lecteurs, nous signalerons :

Classe 6. *Exploitation des houillières.* — Matériel et procédés de fonçage, de cuvelage, de percement des galeries, d'excavation et d'abattage. Outils et engins mécaniques. Appareils de descente et de remonte. Pompes, appareils de sécurité. Eclairage et ventilation. Matériel de manutention et de transports au fond et au jour. Lavage et préparation mécanique des minerais et des combustibles minéraux.

Machines à agglomérer, appareils de carbonisation, fours à coke.

Combustibles minéraux : houilles, tourbes, lignites, anthracites, résidus et agglomérés. Engrais minéraux : (phosphates, etc.).

Matériel de découvertes des mines, puits artésiens, etc.

Plans d'exploitation des mines, statistiques et publications.

Ils sont à 12 pôles, la tension est de 3 000 volts, 50 périodes. Ils sont reliés aux turbines par joint Raffard directement, et par suite tournant à 500 tours à la minute avec une vitesse périphérique de 42 m par seconde. L'excitation exige 12,3 kilowatts à 125 volts avec $\cos \varphi = 0,8$.

Le poids total de chaque alternateur est de 26 000 kg; le moment d'inertie de la partie tournante est de 12 600 kilogrammètrescarrés.

Le rendement à pleine charge avec $\cos \varphi = 0,8$ est de 96 p. 100, à trois quarts de charge 94,5 et à demi-charge 93 p. 100. Avec $\cos \varphi = 1$, les rendements correspondants sont 95,5 — 96 et 95.

La chute de potentiel de la marche à vide à la marche à pleine charge avec $\cos \varphi = 0,8$ est de 12 p. 100.

Les alternateurs ont l'avantage d'une construction simple qui en facilite la réparation rapide ; les bobines de l'induit sont constituées par des baguettes de cuivre facilement démontables.

Les excitatrices sont à courant continu, 6 pôles, 75 kilowatts, 125 périodes, compound. Elles sont accouplées directement à leurs turbines par joint Raffard et tournent à 600 tours. Chacune d'elles suffit largement pour l'excitation de 5 alternateurs et pour les services accessoires de l'usine.

Les transformateurs élévateurs de tension sont au nombre de 4, monophasés et réunis par 3 en étoile ; le quatrième est de réserve et peut avec une manœuvre convenable des déviateurs être substitué à l'un quelconque des trois autres. Chaque transformateur est de 1 100 kilovoltampères. Ils sont à refroidissement à l'huile avec circulation d'eau. Cette circulation est assurée par deux moteurs à pompes alimentaires actionnées par le courant des excitatrices.

Les transformateurs élèvent la tension de 3 000 à 30 000 volts, ils ont un rendement à pleine charge de 98,3 p. 100 pour $\cos \varphi = 1$, à demi-charge 97,5 et à un quart de charge 94 p. 100 ; pour $\cos \varphi = 0,75$, le rendement respectif est de 97,3 — 96 — 92.

La régulation pour charge non inductive est de 0,9 p. 100 et pour $\cos \varphi = 0,75$ de 3,75 p. 100.

Ces transformateurs sont garantis comme capables de supporter une surcharge de 25 p. 100 pendant deux heures sans dépasser la température de 50°. Ils sont essayés à 60 000 volts pour les bobines primaires et le noyau. Tous les socles de toutes les machines sont à la terre.

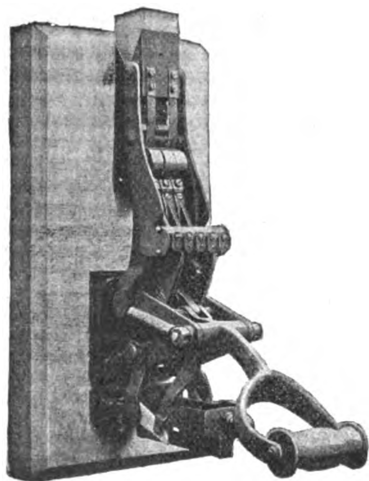
Le tableau de distribution est divisé en plusieurs compartiments dont un est réservé aux excitatrices, un à chaque alternateur d'autres pour la ligne, etc.

Le courant continu des excitatrices est recueilli sur des barres omnibus, d'où il est transmis aux alternateurs, aux moteurs-pompes et aux services accessoires de l'usine. Chaque alternateur a sur son circuit d'excitation un ampèremètre et un interrupteur bipolaire avec résistance de décharge pour l'extra-courant en outre du rhéostat.

Le courant des alternateurs est, par 3 barres à 3 000 volts, transmis aux transformateurs puis à la ligne.

Pour chaque alternateur, outre les valves de sûreté, on a installé un interrupteur tripolaire à huile, un ampèremètre et un volmètre qui sert aussi pour la synchronisation. Sur les compartiments de la ligne, il y a trois ampèremètres, un par phase, et

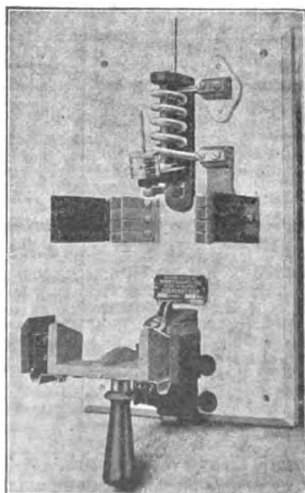
Westinghouse



Disjoncteur type « Balai »

Disjoncteurs automatiques
Westinghouse
pour
courants continu et alternatif.

Les disjoncteurs Westinghouse sont d'une construction très robuste et très simple, ils possèdent une très grande sensibilité, la rupture se produit très rapidement, elle a lieu sur charbons.



Disjoncteur type à « Mâchoire »

Matériel électrique
Westinghouse

pour

Traction **Éclairage**

Transport de Force

Génératrices
Commutatrices
Transformateurs
Moteurs

Installations électriques complètes

Société anonyme
Westinghouse
(Capital : 20.000.000 fr.)

Boulevard Sadi-Carnot,
Le Havre

Siège social : 45, rue de l'Arcade, Paris

Usines
au Havre et à Sévran

Agences à : Paris, Lille, Lyon, Toulouse, Nancy, Madrid, Bruxelles, Milan.

deux wattmètres, outre l'interrupteur automatique à huile. Tous les appareils dépendent de transformateurs convenables de potentiel ou de courant. Sur les compartiments de la ligne, il convient de noter que les 3 ampèremètres indiquant le courant des diverses phases d'un circuit dépendent de deux transformateurs de courant seulement, lesquels servent aussi pour la commande de l'interrupteur automatique et des wattmètres.

Toutes les valves de sûreté et les interrupteurs sont séparés entre eux par de petites cloisons en maçonnerie et placés en des endroits non facilement accessibles.

La ligne de transmission de l'usine de Navalèse à Turin est presque terminée sur 60 km. Dans son étendue complète elle doit suivre la vallée de la Cenischia jusqu'à Suze, elle traverse 21 communes et est divisée en trois parties presque égales par deux stations intermédiaires en maçonnerie contenant des interrupteurs et des parafoudres. Outre les interrupteurs à l'entrée et à la sortie de chaque fil, il y en a d'autres sur les connexions qui réunissent entre eux les fils d'une même phase. Avec cette disposition, on peut réaliser toute combinaison pour supprimer le courant d'un fil sur une longueur comprise entre la station et une sous-station, ou entre deux sous-stations.

La différence de niveau entre la station de production et celle de transformation est de 604 m.

Les supports de la ligne sont exclusivement en fer et construits par la Société nationale des usines de Savigliano. Les poteaux ont la hauteur de 11,80 m dont 1,30 enfoncé dans la terre et entouré d'un socle de ciment. Ils pèsent environ 420 kg et sont utilisés dans les parties rectilignes de la distribution. Aux angles sont placés des poteaux spéciaux plus robustes, variant suivant l'ouverture de l'angle et atteignant jusqu'à 1 600 kg.

Le nombre des poteaux est de 800 avec une distance moyenne de 75 m.

Chaque poteau supporte 9 fils fixés sur des supports spéciaux étudiés par la Société. Ces isolateurs sont fixés par des boulons de fer sur des traverses de chêne placées horizontalement et tenues aux piliers par des boulons. Ces traverses sont au nombre de 5 d'un côté et 4 de l'autre, la longueur est de 0,525 m et la section de $0,10 \times 0,14$ m, le plus grand côté étant horizontal. Les isolateurs fixés sur ces traverses sont à une distance verticale de 0,628 et à une distance horizontale de 0,725 m. De cette sorte, les fils sont disposés trois à trois sur triangle équilatéral de 0,725 m de côté.

Les isolateurs sont composés de 3 cloches et sont fixés sur le boulon central par une double vis en noyer, la partie inférieure étant munie d'un manchon de porcelaine.

Actuellement les 6 fils supérieur sont seuls posés. Ils sont en cuivre électrolytique de 6,75 mm. La résistance mécanique dépasse 38 kg par millimètre carré et la résistance électrique est de 0,45 ohm par kilomètre à 0°. Les fils sont disposés toujours dans le même sens ; mais on a ménagé 12 inversions le long de la ligne pour éviter les effets d'induction sur les lignes télégraphiques et téléphoniques voisines.

L'usine secondaire de transformation est à Turin en dehors de la barrière Martinello. La surface est

de 320 m². Elle contient actuellement 3 transformateurs triphasés à huile avec refroidissement d'air ; mais l'installation est prévue pour 6 transformateurs.

Le matériel de cette sous-station a été fourni par les ateliers d'Oerlikon. Les transformateurs sont triphasés avec enroulements concentriques facilement démontables. La tension primaire est de 27 000 volts, la tension secondaire 3 000. Chaque transformateur a une puissance de 1 000 kilovoltampères et pèse 11 000 kg. La chute de tension pour $\cos\varphi = 0,75$ est de 3,75 p. 100 et pour charge non inductive de 2 p. 100.

G.

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES ET BREVETS

Théorie.

Mesures de la polarisation rotatoire magnétique dans les gaz liquéfiés sous la pression atmosphérique, par L.-H. Siertsema. *Communications from the Physical Laboratory of Leiden*, n° 80. Résumé dans *Journal de Physique*, 4ᵉ série, t. II, p. 465, juin 1903. — L'appareil précédemment décrit (*Journal de Physique*, 3ᵉ série, t. X, p. 211, 1901), a dû être remplacé. Le chlorure de méthyle, provenant du produit commercial plusieurs fois distillé, est contenu dans un tube de verre horizontal de 35 cm de long fermé par deux glaces de verres de 1 mm d'épaisseur fixées à la glu marine. Ce tube, ainsi que les nicols polariseur et analyseur, est dans l'axe d'une boite cylindrique à double paroi refroidie par du chlorure de méthyle et protégée contre l'échauffement de la bobine magnétisante par une couche de laine; le liquide du tube laboratoire intérieur, dans ces conditions, est parfaitement tranquille et exempt de bulles de vapeur. Les deux nicols sont fixés l'un à l'autre, et font un angle de 11° avec leur position à angle droit. La bande noire se déplace d'une extrémité du spectre à l'autre quand l'intensité du courant varie entre 20 et 60 ampères. Connaissant, d'après les mesures antérieures faites sur l'eau, les constantes de rotations pour différentes longueurs d'onde du spectre visible, on vérifie que les produits de ces constantes par les intensités du courant nécessaire pour éteindre ces différentes longueurs d'onde dans le spectre, sont sensiblement identiques. La valeur moyenne de ces produits n'est autre que l'angle des sections principales des nicols polarisateur et analyseur, exprimé avec une unité complexe. Dans les expériences faites avec le chlorure de méthyle, l'appareil restant le même le quotient de la valeur précédemment trouvée de l'angle des nicols par l'intensité de courant qui éteint une longueur d'onde connue, donne la constante de rotation du liquide pour cette longueur d'onde. On peut ainsi tracer la courbe ayant pour abscisses les longueurs d'onde et pour ordonnées les constantes de rotation du chlorure de méthyle et former ensuite les quotients des ordonnées par celle qui se rapporte à la longueur d'onde du sodium. La dispersion ainsi trouvée est normale et diffère peu de celle de l'eau et des autres gaz. Dans ces expériences, on ne tient pas compte de la polarisation rotatoire magnétique des lames de verre qui ferment le tube d'expérience; comme cette erreur intervient de la même façon dans les expériences faites sur l'eau et le chlorure de méthyle et que les dispersions sont presque identiques, la cause d'erreur s'élimine d'elle-même sensiblement.

Calcul de e/m au moyen du pouvoir rotatoire magnétique des corps dénués de bande d'absorption dans le spectre visible, par L.-H. Siertsema. *Communications from the Physical Laboratory of Leiden*, n° 2. Résumé dans *Journal de Physique*, 4ᵉ série, t. II, p. 468, juin 1903. — Dans un mémoire analysé antérieurement (*Journ. de Phys.*, 3ᵉ série, t. VIII, p. 502, 1899), M. H. Lorentz cherche à expliquer les propriétés du quadruplet de M. Cornu (raie D_1) en admettant que les phénomènes lumineux sont produits par les vibrations d'un ion sphérique de rayon a recouvert d'une charge électrique. Cette charge que l'on suppose liée à la matière pondérale, a, à l'état d'équilibre, une densité superficielle σ partout uniforme, donc une charge totale $e = 4\pi a\sigma^2$. M. Lorentz admet que les points de la surface sphérique ne peuvent se déplacer que dans la surface elle-même et que dans ce mouvement chaque élément conserve sa charge,

ce qui donne lieu à des condensations et à des dilatations de cette charge. Soit ρ la densité superficielle de la matière pondérale qui porte la charge électrique, la masse totale m du support matériel de l'électricité est donné par $m = \pi a^2 \rho$. Pour une substance dont la dispersion est donnée par $n = f(\lambda)$, le déplacement δ de la longueur d'onde λ, dans un champ magnétique, par une lame de substance d'épaisseur z, est donné d'après Hallo par la formule :

$$\omega = \frac{2\pi}{\lambda} z \delta \frac{dn}{\delta\lambda}$$

D'autre part le déplacement δ produit par le champ magnétique H est donné par la théorie élémentaire de l'effet Zeeman, V étant la vitesse de la lumière dans le vide.

$$\delta = \frac{e}{m} \frac{H\lambda^2}{4\pi V}$$

Si l'on remarque $\omega = \rho z H$, ρ étant la constante de rotation de la substance considérée pour la longueur d'onde λ, il vient définitivement :

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{\lambda} \rho \frac{d\lambda}{dn}$$

L'auteur utilise ses propres expériences sur la polarisation rotatoire magnétique et les mesures connues de dispersion pour le calcul de $\frac{e}{m}$, la longueur d'onde étant celle du sodium, il trouve ainsi :

Air . . . $\frac{e}{m}$	$= 1{,}06 \times 10^7$
CO^2 . .	$= 0{,}89$
H . . .	$= 1{,}77$
H^2O . .	$= 1{,}25$
CS^2 . .	$= 0{,}745$
Quartz .	$= 1{,}25$

Electrochimie.

Procédé Kitsee pour le nettoyage électrolytique de la toile métallique des machines à papier. *Moniteur de la papeterie française*, t. XXXIX, p. 343, 15 août 1903, d'après *Papier-Zeitung*. — Les maillons des toiles sans fin des machines à papier sont rapidement obstrués par les fibres de la pâte, la colle et autres matières employées pour la charge des papiers. Tous les deux ou trois jours s'impose le nettoyage de la toile. On emploie ordinairement à cet effet un bain d'acide sulfurique dilué et on nettoie la toile à l'aide de brosses. Mais cette opération fréquemment répétée présente l'inconvénient de faire subir de nombreux arrêts à la machine ; en outre l'acide sulfurique attaque le tissu métallique : une toile à maillons fins doit être remplacée tous les mois, une toile à maillons plus larges tous les deux mois environ. — Le procédé breveté par M. Kitsee aux États-Unis supprime ces deux inconvénients. Pour cela la toile passe constamment dans une auge à fond cylindrique contenant un électrolyte ; elle est mise en communication avec l'un des pôles d'une source de courant par l'intermédiaire d'un des rouleaux qui la mettent en mouvement : elle constitue ainsi une électrode ; l'autre électrode est formée par les parois de l'auge d'électrolyse. Comme électrolyte de nettoyage on emploie de l'acide sulfurique dilué, de la soude, de la potasse ; on peut encore prendre les acides azotique, chlorhydrique ou oxalique ; une solution de sel marin peut également servir, mais la formation du chlore qui en résulte peut présenter des inconvénients. Pour compenser l'usure de la toile, on y dépose, toujours par voie électrolytique, un métal ; l'inventeur choisit de préférence le cuivre pour former l'anode et l'acide azotique comme électrolyte.

LISTE DES BREVETS D'INVENTION

BF : Brevet français. — BP : Patente anglaise — DRP : Patente allemande — USAP : Patente américaine.

La liste des brevets français est communiquée par l'Office E. Barrault, 17, Boulevard de la Madeleine, Paris.

Génération et Transformation.

Dynamos, Transformateurs, etc. — Edgerson et Bower. 331 994, *BF*, 12 mai 1903. — Perfectionnements aux machines.

Louvrier et Thiriet. 331 086, *BF*, 9 avril 1903. — Nouvelle machine électrique à courant continu, sans collecteur, permettant la production du courant sous toute tension et la transformation de tension pour appareil fixe.

Remy. 332 343, *BF*, 25 mai 1903. — Machine magnéto-électrique.

Ageron. 331 677, *BF*, 2 mai 1903. — Machine électrique avec dispositif de commande pour l'allumage des moteurs et l'éclairage.

Siemens et Halske. 331 969, *BF*, 17 avril 1903. — Génératrice de courants alternatifs mono ou polyphasiques.

Blathy. 332 257, *BF*, 25 mai 1903. — Perfectionnements à la disposition des enroulements d'une machine à courants alternatifs.

Ziegenberg. 331 327, *BF*, 18 avril 1903. — Procédé pour supprimer la projection des étincelles dans les machines à champ alternatif.

X... 331 374, *BF*, 20 avril 1903. — Compoundage de machines synchrones mono ou polyphasées.

Langrin. 331 803, *BF*, 7 mai 1903. — Lames de collecteurs pour dynamos et moteurs électriques.

Society the Johnson Lundell Electric Traction C° Limited. 332 652, *BF*, 30 mai 1903. — Perfectionnements aux porte-balais pour machines dynamo-électriques, moteurs électriques.

Société anonyme Le Carbone. 332 220, *BF*, 19 mai 1903. 332 105, *BF*, 15 mai 1903. — Connexions pour les balais de dynamos.

Piles et Accumulateurs. — De Tichen et Riasse. 331 782, *BF*, 6 mai 1903. — Perfectionnements aux piles primaires.

Piqueur. 331 698, *BF*, 4 mai 1903. — Pile hydro-électrique.

Société anonyme Le Carbone. 332 147, *BF*, 19 mai 1903. — Piles hydro-électriques hermétiques.

Vogt. 332 528, *BF*, 19 mai 1903. — Fermeture hermétique pour piles galvaniques.

Darling. 332 022, *BF*, 13 mai 1903. — Accumulateurs.

Delaporte. 332 108, *BF*, 15 mai 1903. — Accumulateurs à poids.

Feldkamp. 331 983, *BF*, 28 avril 1903. — Accumulateur.

Ford. 332 789, *BF*, 4 juin 1903. — Appareil électrolytique particulièrement applicable comme pile secondaire.

Calandri. 332 225, *BF*, 19 mai 1903. — Electrodes poreuses et indissolubles.

R. Trub et Cº Gesellchaft mit Bextrankter Haftung. 331 085, *BF*, 9 avril 1903. — Electrode d'accumulateur.

Von de Poppenburg. 332 463, *BF*, 25 avril 1903. — Electrode d'accumulateur et procédé pour sa fabrication.

Bigur. 331 910, *BF*, 11 mai 1903. — Plaques d'accumulateurs.

Holden et Cie. 332 038, *BF*, 13 mai 1903. — Plaque d'accumulateur.

Gondraud et Celestre. 331 207, *BF*, 15 avril 1903. — Construction de plaques pour accumulateurs.

Téronte, Weiller et Caillard. 330 851, *BF*. 2 avril 1903. — Système de montage des plaques d'accumulateurs évitant toute chute de matière active.

Meusnier et Monnier. 330 669, *BF*, 28 mars 1903. — Nouveau dispositif de grille support pour accumulateurs.

Jeantaud. 332 041, *BF*, 13 mai 1903. — Séparateur isolant pour accumulateurs.

Hutchison. 331 826, *BF*, 23 mars 1903. — Commutateurs de charge pour batteries secondaires.

Transmission et Distribution.

Généralités. — Slaughter. 331 215, *BF*, 15 avril 1903. — Système de distribution électrique.

Warren et Campbell. 332 646, *BF*, 30 mai 1903. — Dispositif pour réduire les effets de réflexion dans les circuits électriques.

Appareillage. — Hitch et Cie Henley's Telegraph. 331 666, *BF*, 1er mai 1903. — Perfectionnements dans les câbles.

Bowley. 331 451, *BF*, 23 avril 1903. — Perfectionnements dans les tubes flexibles en métal servant d'armature aux conducteurs électriques isolés.

Wilhelm. 331 219, *BF*, 15 avril 1903. — Protection des câbles ou autres conduits souterrains contre les détériorations d'ordre mécanique.

Wherry. 332 703, *BF*, 2 juin 1903. — Connexion électrique.

Farkas. 331 106, *BF*, 10 avril 1903. — Borne pour fixation sans vis des fils conducteurs de courants.

Société française des cables électriques système Berthoud, Borel et Cº. 331 230, *BF*, 17 avril 1903. — Matière isolante à haut point de fusion.

Veuve Ponthieu. 330 839, *BF*, 2 août 1903. — Chaîne à maillons articulés ou non avec gorge extérieure pour les installations électriques.

Felten et Guilleaume, Cailswerk Actien Gesellchaft. 330 913, *BF*, 4 avril 1903. — Assemblage d'un talon

de cuivre soit avec un câble plat ou ruban métallique pour conducteurs électriques.

Belliol. 330 880, *BF*, 3 avril 1903. — Isolateur pour hautes tensions.

Charissi. 332 773, *BF*, 4 juin 1903. — Isolateur coupe-courant.

Gaussol. 332 324, *BF*, 25 mai 1903. — Coupe-circuit distributeur.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 330 662, *BF*, 28 mars 1903. — Perfectionnement aux coupe-circuits électriques.

Murphy. 331 961, *BF*, 11 avril 1903. — Interrupteur pour courants de haute intensité.

Pifre. 331 866, *BF*, 8 mai 1903. — Commutateur.

Kingoland. 332 136, *BF*, 16 mai 1903. — Commutateur électrique à rochet.

Costa. 331 971, *BF*, 23 avril 1903. — Appareil découplant, en cas de danger, deux électrogènes en parallèle.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 332 023, *BF*, 13 mai 1903. — Perfectionnements aux déclics des disjoncteurs automatiques.

Bradley et Allen. 330 758, *B F*, 31 mars 1903. — Rhéostat avec appareils de réglage.

Hopfelt. 331 752. *BF*, 5 mai 1903. — Résistance électrique.

Felten et Guilleaume Carlowert Acten Gesellchafti. 330 959. *BF*, 6 avril 1903. — Bobine flexible de self-inducteur en deux parties agencées pour l'insertion directe dans les câbles électriques.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 330 663, *BF*, 28 mars 1903. — Perfectionnement aux dispositifs de soufflage des arcs électriques.

Tonnart. 332 650, *BF*, 30 mai 1903. — Nouveau système de parafoudre.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 331 876, *BF*, 9 mai 1903. — Perfectionnements aux régulateurs électriques.

Applications mécaniques.

Moteurs. — Cushman. 331 064, 331 065, *BF*, 9 avril 1903. — Moteur polyphasé asynchrone.

Bedde. 330 638, *BF*, 27 mars 1903. — Moteur automatique électro-mécanique.

The Johnson Lundell Electric Traction C° Limited. 332 648, *BF*, 30 mai 1903. — Perfectionnements au réglage des moteurs électriques.

Applications diverses. — Elektrizitats Aktien Gesellschaft vorm W. Lahmeyer et C°. 330 653, *BF*, 27 mars 1903. — Procédé pour empêcher la formation des étincelles et augmenter la précision dans la mesure électrique des vitesses.

Elektrizitats-Aktien Gesellschaft vorm W. Lahmeyer et C°. 330 728, *BF*, 30 mars 1903. — Compensation des variations de tensions dans les indicateurs électriques de vitesses.

Elektrizitats Aktien Gesellschaft vorm W. Lahmeyer et C°. 331 158, *BF*, 11 avril 1903. — Dispositif de commandes pour machines motrices électriques travaillant périodiquement.

Blender. 330 867, *BF*, 3 avril 1903. — Appareil électrique pour la commande de plats dans les restaurants et pour l'enregistrement de ces commandes.

Hereng. 332 450, *BF*, 17 mars 1903. — Avertisseur électrique pour la protection contre l'effraction des coffres-forts « Le Monitaure ».

Burel. 330 957, *BF*, 6 avril 1903. — Appareil pour contrôler l'arrivée dans les courses de pigeons voyageurs.

Télégraphie et Téléphonie.

Aktieselshabet télégrafonen patent Paulsen. 331 019. *BF*, 8 avril 1903. — Réception, enregistrement et conservation temporaire des messages, des signaux, etc.

Falcone. 331 973, *BF*, 23 avril 1903. — Perfectionnement aux appareils de télégraphie électrique.

Magni. 331 088, *BF*, 9 avril 1903. — Système de télégraphie sans fil syntonique pour communications multiples.

Mercadier. 331 005, *BF*, 7 août 1903. — Commutateur automatique à fil fusible pour installations unipolaires ou multipolaires.

Musso. 331 131, *BF*, 13 avril 1903. — Appareil télégraphique actionnant sans fil une machine à écrire.

Turchi et Brune. 331 248. *BF*, 16 avril 1903. — Téléphonie et télégraphie simultanées par un même fil.

Brown. 330 692, *BF*, 23 mars 1903. — Perfectionnements aux appareils téléphoniques.

Dommergue. 330 730, *BF*, 20 mars 1903. — Système de commutateur téléphonique à groupe et à batterie centrale.

Effertz. 331 934, *BF*, 11 mai 1903. — Appareil de préservation pour téléphones.

Fahnestock. 331 340. *BF*, 23 avril 1903. — Perfectionnements apportés aux transmetteurs téléphoniques et à leurs supports.

Hjorth. 331 220, *BF*, 15 avril 1903. — Bouton commutateur pour sonnerie de téléphone.

Le Goaziou. 331 935 *BF*, 12 mai 1903. — Microphones à granules où à grenaille de charbon.

Paul et Mc Dougall. 330 882, *BF*, 3 avril 1903. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques.

Pezzer. 331 047, *BF*, 8 août 1903. — Système de relais pour courants induits permettant d'augmenter l'intensité des transmissions téléphoniques.

Ruoff et Cie. 330 829, *BF*, 1er avril 1903. — Système de microphone.

The controller Co of America. 332 378, *BF*, 26 mai 1903. — Dispositif de fermeture pour récepteur d'appareils téléphoniques.

Ducretet. 332 712, *BF*, 9 juin 1903. — Transformateur d'induction pour les postes de télégraphie sans fil.

Gesellschaft fur Drahtlose Telegraphie system Prof. Braun et Siemens et Halske. 332 716, *BF*, 2 juin 1903. — Système de transformation d'ondes électriques.

Rochefort et la Société anonyme d'électricité et d'automobiles Mors. 332 743, *BF*, 3 juin 1903. — Réception accordée pour la télégraphie par ondes hertziennes.

Stone Telegrah ét Telephone Cy. 331 832, *BF*, 14 avril 1903. — Système de télégraphie dans l'espace.

Stone Telegraph et Telephone Cy. 331 833, *BF*, 14 avril 1903. — Télégraphie sans fil.

Stone Telegraph et Telephone Cy. 331 962, *BF*, 14 avril 1903. — Télégraphie dans l'espace ou sans fil.

Walter et Ewing. 332 191, *BF*, 13 mai 1903. — Système détecteur perfectionné d'oscillations électriques.

Michelin et Grand. 332 270, *BF*, 27 mai 1903. — Appareil permettant la vision des images à distance.

Semat. 331 314, *BF*, 16 avril 1903. — Transmission des images à distance par le moyen du son et de la lumière.

Applications thermiques.

Carrere. 331 740, *BF*, 5 mai 1903. — Four électrique.

Compagnie de Fives-Lille. 330 955, *BF*, 6 avril 1903. — Dispositif de chauffage par l'électricité, en vue de son application au matériel des typographes.

Hill. 331 737, *BF*, 5 mai 1903. — Appareils pour le chauffage de l'eau.

Lafond. 331 162, *B F*, 11 avril 1903. — Chauffage par l'électricité.
Legros et Viel. 330 934, *B F*, 12 mars 1903. — Rhéostat radiateur.
Berthenod. 330 955, *B F*, 6 avril 1903. — Allumoir électromagnétique.

Eclairage.

Brussel-Aachener Glas Manufactur Leymans et Kein. 331 490, *B F*, 25 avril 1903. — Lampe à arc de longue durée.
Gore. 331 116, *B F*, 11 avril 1903. — Lampe à arc perfectionnée.
Nondeden. 331 125, *B F*, 11 avril 1903. — Lampe à arc.
Rosemeyer. 331 243, *B F*, 16 avril 1903.— Perfectionnements aux lampes à arc.
Richard. 330 885, *B F*, 3 avril 1903. — Lampe de projections pour courants continus ou alternatifs.
Bardon. 331 807, *B F*, 7 mai 1903.— Régulateur pour arc.
Neel. 331 656, *B F*, 1er mai 1903. — Modérateur pour lampes à arc.
Compagnie Générale de phonographes, cinématographes et appareils de précisions. 331 323, *B F*, 18 avril 1903. — Nouvelle pince à charbons à serrage automatique pour lanternes à projections.
Efrem. 331 986, *B F*, 1er mai 1903. — Pince pour lampe à arc.
Muller. 331 676, *B F*, 1er mai 1903. — Chapeau-manchon réfractaire pour développer la surface éclairante dans les lampes à arc.
Compagnie Française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 331 551, *B F*, 28 avril 1903. — Lampes à incandescence.
American Miniature et décorative lamp C°. 330 900, *B F*, 4 avril 1903. — Perfectionnements apportés aux lampes électriques à incandescence.
Hogge et Barrollier. 331 034, *B F*, 8 avril 1903. — Perfectionnements dans la fabrication des lampes à incandescence.
Beuttell. 331 441, *B F*, 23 avril 1903. — Système de montage et d'installation pour lampes à incandescence destinées à l'éclairage des devantures de magasins, à la formation de rampes pour illuminations de toutes sortes, etc.
Morphet. 330 896, *B F*, 4 avril 1903. — Commutateur manœuvré à distance pour l'éclairage électrique.
Junca. 331 670, *B F*, 1er mai 1903. — Appareil d'éclairage appelé l'auto-éclaireur.

Electrochimie et Electrométallurgie.

Atkins. 330 849, *B F*, 2 avril 1903. — Perfectionnements aux pôles ou électrodes ou appareils électrolytiques, etc.
Compagnie Française de l'Ozone. 332 033, *B F*, 13 mai 1903. — Montage et refroidissement des ozoneurs statiques (Otto).
Compagnie Française de l'Ozone. 332 034, *B F*, 13 mai 1903. — Ozoneur à basse fréquence pouvant se brancher directement sur un secteur (Otto).
Compagnie Française de l'Ozone. 332 142, *B F*, 16 mai 1903. — Ozoneur à haute fréquence (Otto).
Rosenberg. 331 070, *B F*, 9 avril 1903. — Appareil rotatif perfectionné pour la production de l'oxygène.
Dessolle. 331 265, *B F*, 17 avril 1903. — Perfectionnements au travail électrolytique des métaux.

Mesures.

Association des ouvriers en instruments de précision. 332 559, *B F*, 28 mai 1903. — Appareil pour mesures électriques pouvant fonctionner comme voltmètre et comme ampèremètre à périodique (système F. Gintz).
Compagnie générale d'électricité. 331 055, *B F*, 9 avril 1903. — Appareils de mesure, indicateurs ou enregistreurs, système Poussin.
Maury. 332 055, *B F*, 14 mai 1903. — Appareils de mesures électriques.
Varley. 330 612, *F B*, 28 mars 1903. — Dispositif permettant la lecture exacte des appareils de mesure électrique.
Carpentier. 331 341, *B F*, 18 avril 1903. — Perfectionnements dans les appareils enregistreurs électriques et autres.
Meylan et la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines a gaz. 322 525 *B F*, 22 avril 1903. — Aiguille et plume pour appareils enregistreurs.
Barbier. 332 000, *B F*, 12 mai 1903. — Compteur.
Barral. 328 043, *B F*, 1er août 1903. — Perfectionnements aux compteurs à champ tournant
Barthelemy fils. 332 296, *B F*, 28 mai 1903. — Compteur avertisseur électrique.
De Ferranti et Hamilton. 332 765, *B F*, 4 juin 1903. — Compteur électrique pour courants alternatifs.
Plisson. 330 915, *B F*, 4 avril 1903. — Compteur d'énergie électrique.
Siemens et Halske. 331 628. *B F*, 30 mars 1903. — Perfectionnements aux compteurs à champ tournant.
Ziegenberg. 330 711, *B F*, 30 mars 1903. — Compteur d'électricité.
Allgemeine Elektricitats Gesellschaft. 330 902, *B F*, 4 avril 1903. — Mode et dispositif de réglage des ampères-heuresmètres à moteur pour des tensions différentes.

